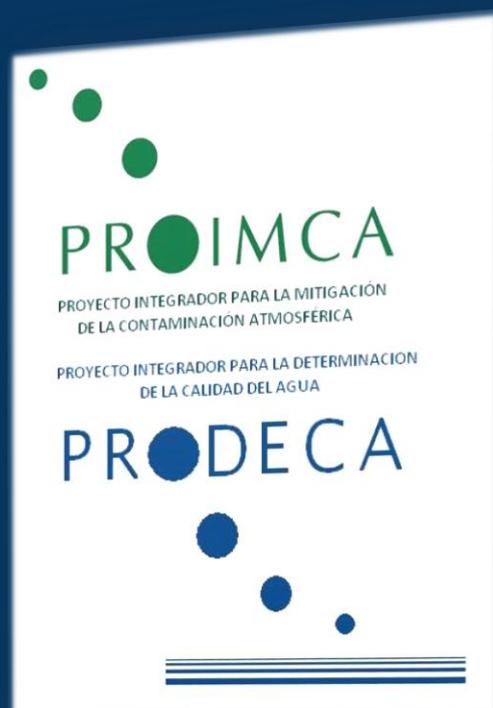


# CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E HÍDRICA EN ARGENTINA

Contribuciones del  
III Congreso PROIMCA Y I Congreso PRODECA

2011



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

**Selección de artículos completos y resúmenes del  
Tercer Congreso del  
Proyecto Integrador para la Mitigación de la Contaminación Atmosférica  
(PROIMCA)**

**y**

**Primer Congreso del  
Proyecto Integrador para la Determinación de la Calidad  
del Agua (PRODECA)**

**Realizado en Mendoza, Argentina  
el 24, 25 y 26 de agosto de 2011**

**Editor / Compilador**

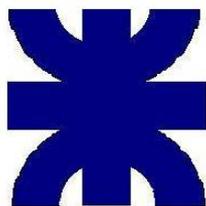
**Dr. Ing. S. Enrique Puliafito**

**Organizado por**

**Rectorado  
Secretaría de Ciencia y Tecnología**

**Área de Medio Ambiente, Contingencias Climáticas y Desarrollo  
Sustentable**

**Facultad Regional Mendoza  
Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable**



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**

Copyright @ Universidad Tecnológica Nacional, 2011. Todos los derechos de este libro están reservados. Sólo está permitida la reproducción parcial o total de este libro con fines Académicos siempre que se mencione el origen. Primera Edición: Agosto de 2011

Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina. Contribuciones del 3º Congreso PROIMCA y 1º Congreso PRODECA. Proyecto integrador para la mitigación de la contaminación atmosférica (PROIMCA) y Proyecto integrador para la determinación de la calidad del agua (PRODECA) / compilado por Salvador Enrique Puliafito. - 1a ed. - Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza; Puliafito, Enrique, 2011. CD-ROM.

ISBN 978-950-42-0136-6

Fecha de catalogación: 12/08/2011

1. Contaminación. 2. Contaminación Atmosférica. 3. Actas de Congreso. I. Puliafito, Salvador Enrique, comp.

CDD 363.739 2

Versión digital  
E-Book (on line)

ISBN 978-950-42-0136-6



## PRESENTACIÓN DE ESTE NUEVO VOLUMEN

El Área de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Contingencias Climáticas es una de los 12 programas de investigación y desarrollo tecnológico de la Universidad Tecnológica Nacional. Esta área ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos años, contando en los años 2010-2011 con 46 proyectos acreditados en 18 Facultades Regionales.

El foco de esta área o programa está en el aumento en la productividad, competitividad y modernización de la producción pero compatibles con la conservación del medio ambiente, el mantenimiento de la riqueza en biodiversidad y la disminución de la contaminación ambiental. Es un desafío compaginar ambos objetivos, pero ello es posible mediante un uso racional de los recursos naturales, la utilización de tecnologías ambientalmente sanas y la creación de un sistema de monitoreo y remediación ambiental. Esto sin duda requiere una aplicación constante de diversas disciplinas científicas y aplicaciones tecnológicas, tanto para el monitoreo ambiental, como para la planificación del uso de los recursos, la adaptación de la producción industrial a las normas de calidad ambiental y la remediación de posibles daños.

De allí surgen algunas líneas prioritarias, en consonancia con los objetivos de ciencia y técnica nacionales, como por ejemplo, el uso sustentable de los recursos naturales, el impacto de las obras de ingeniería en la pérdida de la biodiversidad, los bosques, la degradación de suelos y el impacto sobre los ecosistemas marinos y costeros.

La contaminación de la atmósfera, los ríos y los suelos por fuentes móviles, industriales, petroleras o mineras, son una constante preocupación y objeto de estudio. Varios temas adicionales están cobrando mucho interés en la sociedad y que se refleja en los proyectos del área: las radiaciones no ionizantes y el ruido. Entre los primeros podemos destacar aquellos estudios orientados a determinar los efectos y prevención de los campos electromagnéticos en instalaciones eléctricas de alta tensión, antenas de transmisión y telefonía celular. El problema del ruido urbano e industrial se trata no sólo desde el punto de vista de su caracterización mediante mediciones, sino a través de la modelación y el impacto sobre la salud de las personas.

Temas también prioritarios, pero todavía no suficientemente tratados son: el estudio de las catástrofes naturales, la determinación y caracterización de las zonas

potencialmente más sensibles. Para ello necesitamos profundizar en el estudio de planes de contingencias, la planificación de las obras de infraestructura y definir acciones de mitigación frente a posibles cambios climáticos.

Finalmente, es importante para este programa de investigación de la universidad, el desarrollo de un sistema de información ambiental nacional, integrando indicadores ambientales y sistemas de redes de información actualmente disponibles. Por otra parte, como universidad fuertemente orientada al desarrollo de las ingenierías, nos interesa fomentar aquellas tecnologías útiles para la remediación de ambientes contaminados, ya sea a través de nuevos procesos de tratamiento, purificación o recuperación.

En este marco referencial, se presenta el presente libro que incluye los aportes realizados en la Tercera Reunión Anual realizada en la ciudad de Mendoza entre los días 24 al 26 de agosto de 2011 en la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Contó con las contribuciones de dos proyectos integradores: el *Proyecto Integrador sobre Mitigación de la Contaminación Atmosférica (PROIMCA)*, y el nuevo *Proyecto Integrador para la Determinación de la Calidad del Agua (PRODECA)*. El primero reúne los artículos y resúmenes agrupados alrededor de la calidad del aire, y el segundo sobre calidad del agua. Agua y aire son dos temas claves para la subsistencia humana y de todas las especies vivas del planeta.

Participaron en este encuentro investigadores y becarios de 15 Facultades Regionales: Avellaneda, Bahía Blanca, Buenos Aires, Concepción del Uruguay, Córdoba, Delta, La Plata, Mar del Plata, Mendoza, Rafaela, Resistencia, San Nicolás, Santa Fe, Tucumán y Villa María. Debe mencionarse especialmente la participación de investigadores y becarios invitados de la Universidad Nacional de la Plata, de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA-Constituyentes), del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP-CONICET) y del Instituto de Zonas Áridas (CCT Mza-CONICET). A los investigadores que aceptaron esta invitación les estamos muy agradecidos por su colaboración que enriquecieron la reunión anual y la conformación del presente libro.

Esta reunión contó con 78 presentaciones en total: 41 dedicados a atmósfera y 37 dedicados al recurso hídrico. Entre el primer grupo se incluyen 5 temas sobre radiaciones no ionizantes y 6 sobre ruido urbano. En el segundo grupo se destacan 8 temas referidos a calidad y monitoreo de aguas superficiales, 9 a calidad de agua subterránea y el resto orientados al análisis y metodologías de abatimiento de contaminantes. De las presentaciones orales o de posters se seleccionaron 55 artículos completos de investigación a fin de conformar este presente volumen. Los artículos recibidos contaron con una evaluación de pares anónima a fin de garantizar la calidad y coherencia de los trabajos presentados.

Finalmente quisiera destacar que este volumen es una continuación del primer volumen del PROIMCA publicado en el año 2009 denominado "*Contaminación Atmosférica en Argentina*", también editado por la Universidad Tecnológica Nacional. En este nuevo volumen presentamos los nuevos avances realizados en la investigación sobre contaminación del aire y hemos agregado los nuevos estudios referidos a la contaminación hídrica en Argentina. De allí el nombre elegido para este libro de "*Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina*". Dada la distribución nacional que tienen las regionales de la UTN y la diversidad geográfico-espacial de los temas aquí tratados, creemos ameritan la inclusión en el título del término *en Argentina*.

Los temas de este libro se divide entonces en tres partes, una primera parte agrupa los artículos sobre calidad del aire, correspondientes al PROIMCA. Una segunda parte lo conforman los artículos completos sobre contaminación hídrica presentados en el PRODECA. Por último la tercera parte reúne todos los resúmenes recibidos durante el Congreso realizado en Mendoza en agosto 2011.

En la serie PROIMCA encontraremos varios artículos sobre preparación de inventarios y modelación de la contaminación urbana y por quema de biomasa con un fuerte énfasis en el estudio de aerosoles y material particulado. Otros estudios se centran sobre los efectos epidemiológicos que acarrea la contaminación del aire y los riesgos asociados a los hidrocarburos poliaromáticos. Se incluyen además varios artículos sobre radiaciones no ionizantes y sobre mediciones ópticas y radiométricas en ondas milimétricas aplicadas a la atmósfera. Un capítulo interesante lo constituye un grupo de artículos sobre ruido urbano, que abarca el monitoreo en ciudades como Córdoba, Santa Fe, Mendoza y Bahía Blanca; el uso de modelación numérica, el impacto en interiores y su efecto sobre la salud poblacional.

El capítulo sobre PRODECA presenta varios artículos dedicados a determinar la calidad de agua en ríos superficiales de Argentina. Otros artículos se concentran en el problema de la contaminación del recurso hídrico subterráneo y discuten diversas opciones de abatimiento, fundamentalmente de arsénico presente en amplias zonas de Buenos Aires y Santa Fe. Finalmente otro grupo de artículos se orientan al uso de la modelación numérica como herramienta de evaluación y control de la contaminación en ríos y aguas superficiales por vertido de la industria o la actividad minera.

La intención que esta nueva colección de artículos y resúmenes es difundir y compilar los diagnósticos, soluciones y herramientas disponibles, desde el ambiente académico a los importantes problemas de contaminación del agua y del aire que afectan a nuestro país. Los aportes de los investigadores y becarios de la Universidad Tecnológica Nacional y de las universidades e institutos invitados quedan por este medio disponibles a la comunidad nacional.

## Agradecimientos

Un último párrafo, no menos importante, para agradecer a quienes colaboraron en la organización del Congreso y en la edición del presente libro. Primeramente a la Universidad Tecnológica Nacional, representada por su Rector, Ing. Héctor Brotto, por el soporte permanente a las tareas de investigación que se realizan en todas las Regionales. A CONICET especialmente por los muchos investigadores y becarios que forman parte de la UTN y de las otras universidades y centros de investigación participantes en este Congreso.

Quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Walter Legnani, Secretario de Ciencia y Técnica de la UTN en Rectorado, por el constante apoyo brindado al Área de Medio Ambiente, Contingencias Climáticas y Desarrollo Sustentable. Sea mi especial reconocimiento a la Facultad Regional Mendoza (FRM), representada por su Decano Ing. Eduardo Balash. Quiero destacar especialmente la colaboración de la oficina de Ciencia Técnica y Posgrados, Protocolo y Prensa de la FRM, que nos ayudaron enormemente en las tareas organizativas de este evento. A los integrantes del Grupo GEAA, que colaboraron en la edición del libro y demás preparativos. Entre ellos quiero destacar la labor de Dra. Hebe Cremades, Dr. Rafael Fernández, Dr. David Allende, Arq. Edgardo Bastiani, Ing. Pablo Cremades, Bio-Ing. Celeste Mulena e Ing. Fernando Castro.

Finalmente agradecer nuevamente a todos los colegas de la UTN de muchas Facultades Regionales que se allegaron hasta Mendoza, a los investigadores y becarios de otros centros de investigación y universidades, por su activa participación en este encuentro aportando sus trabajos y visiones. Muchas Gracias.

Y sin más preámbulos pasemos a los temas que nos convoca!

**Dr. S. Enrique Puliafito**  
**Mendoza, 26 de agosto de 2011**  
**Editor / Compilador**

# CONTENIDO

## PRIMERA PARTE: ARTÍCULOS COMPLETOS DEL PROIMCA

### A. Radiaciones no ionizantes, UV y radiometría

- |   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Comparación de los niveles de radiación no ionizantes de varias provincias de la República Argentina. Manassero U.; Fernández, J. y Gimenez, W. ; UTN-RSF   | 19 |
| 2 | Contaminación electromagnética: diseño de una herramienta computacional para la determinación de mapas de densidad electromagnética. Baldini, P.; Galasso, C.; Chaparro, M. y Silva Bustos, M.; UTN-FRBB  | 29 |
| 3 | Las mediciones de RNI a gran escala. Desarrollo, resultados y conclusiones obtenidas en una campaña de mediciones en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Aguirre, A.; Dalmas di Giovanni, N. y Rubial, L.; CITEDEF  | 39 |
| 4 | Instalación de un radiómetro de ondas milimétricas para medir perfiles de ozono en Río Gallegos, Argentina. Orte, P.; Salvador, J.; Wolfram, E.; D'Elia, R.; Nagahama, T.; Kojima, Y.; Tanada, R.; Kuwahara, T.; Morihira, A.; Quel, E. y Mizuno, A.; CITEDEF-CONICET; UNPA; U. Nagoya Japón; ULVAC Japón | 47 |
| 5 | Diseño y construcción de un banco óptico para calibración y caracterización de instrumentos radiométricos. Wolfram, E.; Dworniczak, J.; Repetto, C.; Orte, P.; Raponi, M.; Salvador, J.; D'Elia, R.; Vásquez, P. y Quel, E.; CITEDEF-CONICET; UNPA; UTN-FRBA.   | 55 |

### B. Cambio global, re-ingeniería climática, y energía

- |   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Forzantes externos al planeta y variabilidad climática: PID-UTN. Cionco, R.; Compagnucci, R.; Rodríguez, R.; Velasco-Herrera, V.; Silvestri, G. y Agosta, E.; UTN-FRSN, UBA, UNAM-México, UCA | 63 |
| 2 | Modelación regional de inyección de aerosoles de sulfato para reducción de la temperatura media global en forma artificial. Mulena, G.; Puliafito, S. y Lakkis, G.; UTN-FRM, UCA              | 73 |
| 3 | Proyecto de re-ingeniería para la estimulación climática del incremento de precipitaciones por técnicas artificiales (PRECIPITA). Pérez, R.; UTN-FRM  | 83 |

### C. Ruido urbano y contaminación sonora

- |   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | Monitoreo del ruido audible en la ciudad de Santa Fe. Zóttico, A.; Acosta, D. y Manassero U.; UTN-FRSF   | 93  |
| 2 | Un modelo de difusión anisotrópica de tráfico urbano: Impacto acústico. Cortínez, V. y Domínguez, P.; UTN-FRBB   | 103 |
| 3 | Caracterización de la contaminación sonora en el interior de un establecimiento educativo del microcentro de la ciudad de Mendoza. Boschi, C.; Robles, M.; Bologna, R.; Antivilo, M. y Ormeño, L.; UTN-FRM               | 113 |
| 4 | Investigación interdisciplinaria sobre la contaminación sonora en la ciudad de Córdoba y mapas de ruido. Verzini A.; Serra, M.; Ortiz Skarp A.; Petiti Y.; Henin C.; Maza, D.; Perez Villalobo, J.; Lorenzo, J.; UTN-FRC | 123 |

**D. Estudios de calidad del aire**

1	Calidad de aire en el centro de Santa Fe y la influencia del arbolado urbano en la captación de contaminantes. Rusillo, S.; Ghirardi, R.; Enrique, C.; Pacheco, C. y Caminos, J.; UTN-FRSF	133
2	Análisis de la distribución espacial y temporal del particulado sólido en suspensión según tamaño en el arbolado urbano de San Juan y Mendoza. Moreno, G. y Martínez Carretero, E.; IADIZA-CCT Mendoza	141
3	Estudio sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en La Plata. Reyna Almandos, J.; Arrieta, N.; Sacchetto, V.; Garcimuño, M.; Bertucelli, G.; Orte, M. y Santágata, D.; UNLP, UTN-FRLP	151
4	Inventario de emisiones por quema de biomasa y estimación de su influencia en la calidad de aire en la provincia de Tucumán. Cremades, P.; Pulíaquito, S. y Allende, D.; UTN-FRM	161
5	Análisis de emisiones durante la producción de cerámicos con agregados de residuos industriales. Quaranta, N.; Caligaris, M.; Unsen, M. y Lalla, S.; UTN-FRSN	171
6	Mapa de riesgos a la salud humana considerando la dispersión de material particulado PM10: un caso de estudio. Diez, S.; Fonseca, J. y Britch, J.; UTN-FRC	181
7	Calidad del aire en áreas urbanas e industriales en la provincia de Buenos Aires. Estudio comparativo entre La Plata y Bahía Blanca. Colman, E.; Morales, A.; Aguilar, M.; Barrionuevo, P.; Ditondo, J.; Porta, A.; Massolo, L y Doderó, V.; CIMA, UNS, UNLP	191
8	Polvos sedimentables (PS) en San Miguel de Tucumán. Neme, N.; Moya, N.; Murillo, M.; Gianetto, E.; Vega Caro, L.; UTN-FRT	201
9	Influencia del empleo de diferentes combustibles en las emisiones gaseosas de calderas en la provincia de Córdoba. Vidal, D.; Pagnan, M.; Minetti, R.; Fonseca, J. y Macaño, H.; UTN-FRC	207
10	Emisiones de PCDD/PCDF debido a la incineración de residuos patógenos en Argentina. Minetti, R.; Fonseca, J.; Vidal, D.; Allende, C. y Macaño, H.; UTN-FRC.	217

**E. Modelos matemáticos aplicados**

1	Dinámica de material particulado grueso. Cionco, R.; Quaranta, N. y Caligaris, M; UTN-FRSN	227
2	Validación del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) para la determinación del contenido de vapor de agua atmosférico en Mendoza. Cremades, P.; Allende, D. y Pulíaquito, S.; UTN-FRM	237
3	Modelado de la concentración de PM10 considerando la variabilidad estocástica de las variables atmosféricas y de emisión. Diez, S.; Ré, M. y Britch, J.; UTN-FRC	247
4	Simulación de un accidente químico con la herramienta CFD-DDC: planificación de respuesta a emergencias en ciudades. Sánchez, E.; González, E.; Porta, A.; Acquesta, A. y Jacovkis, P.; CIMA, UNLP, CIREDEF,UBA	257
5	Estimación del riesgo de acidificación en Argentina a través de modelado. Allende, D.; Civit, B. y Pulíaquito, S.; UTN-FRM	269
6	Especiación química de emisiones para su inclusión en WRF/Chem. Castro, F.; Fernandez, R.; Allende, D. y Cremades, P.; UTN-FRM	279
7	Modelación de un evento meteorológico de mesoescala utilizando el modelo WRF; Fernandez, R.; Lakkis, G.; Allende, D.; Santos, R.; Cremades, P.; Pulíaquito, E.; UTN-FRM; UNCuyo; UCA	289

## SEGUNDA PARTE: ARTÍCULOS COMPLETOS DEL PRODECA

### F. Contaminación de aguas subterráneas

- |   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | Calidad de aguas subterráneas de la cuenca del Río Tercero o Ctalamochita. Evaluación de parámetros físico químicos y microbiológicos en 10 años. Marín, G.; Moyano, S.; Brussa, D.; Debernardi, A. y Bergero, R.; UTN-FRVM              | 301 |
| 2 | Origen de la contaminación por nitratos del agua subterránea en Salsipuedes – Córdoba. López, C. y Macaño, H.; UTN-FRC   | 311 |
| 3 | Evolución química del agua subterránea en el sureste de La Plata (Provincia de Buenos Aires). Laurencena, P.; Deluchi, M.; Rojo, A.; Carol, E.; Kruse, E.; Bazán, J.; Alberino, J.; Varriano, N. y Cariello, J.; UTN-FRLP                | 321 |
| 4 | Diagnóstico de calidad del agua subterránea y gestión del recurso hídrico en el noroeste de la provincia de Buenos Aires (caracterización de los centros urbanos). Moschione, E.; Picco, P.; Leiva, S. y Zamora, A.; UTN-CEMDP, UTN-FRTL | 327 |
| 5 | Estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca oeste de la provincia de Santa Fe. Boglione, R.; Panigatti, M.; Griffa, C.; Cassina, D.; UTN-FRRA   | 335 |

### G. Técnicas de análisis y métodos de abatimiento

- |   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | Comparación de técnicas del número más probable y filtración de membrana para análisis microbiológico de agua. Moyano, S.; Marin, G. y Pegoraro, L.; UTN-FRVM                        | 345 |
| 2 | Síntesis de silicatos mesoporosos MCM-41 para la degradación fotocatalítica de contaminantes en solución acuosa. Elías, V.; Sabre, E.; Ortiz, L; Casuscelli, S. y Eimer, G.; UTN-FRC | 355 |

### H. Análisis y contaminación de aguas superficiales

- |   |   |     |
|---|---|-----|
| 1 | Influencia del relleno sanitario de la ciudad de Rafaela en la calidad de las aguas subterráneas. Panigatti, M.; Boglione, R.; Griffa, C.; Cassina, D. y Schierano, C.; UTN-FRRA  | 367 |
| 2 | Estudio de los sedimentos en el tramo rectificado del arroyo Sarandí y determinación de la pluma en el Río de la Plata. Naser, M.; Speltini, C.; Coppo, G.; Machalec, J. y Sanchez, C.; UTN-FRA   | 377 |
| 3 | El arroyo Sarandí: diagnóstico ambiental. Speltini, C.; Naser, M.; Coppo, G.; Machalec, J.; Sanchez, C. y Alonso, A.; UTN- FRA  | 383 |
| 4 | Ciudades costeras de interés turístico y su vinculación con el recurso hídrico. Caso Pehuen-Co. Sartor, A. y González, M.; UTN-FRBB   | 395 |
| 5 | Concentración de nitratos en aguas naturales. Bazán, J.; Alberino, J. y Batistessa, G.; UTN-FRLP  | 405 |
| 6 | Calidad del agua de la laguna Los Lirios – Chaco. Hervot, E.; Roshdestwensky, S.; Farías, A.; Tenev, M.; Utgés, E.; Utgés, E.; Prieto, L.; UTN-FRRE   | 415 |
| 7 | Estudio hidrológico y calidad de agua de las cuencas del arroyo el Pescado y del Gato en los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada. Bazán, J.; Alberino, J.; Varriano, N.; Cariello, J.; Kruse, E.; Rojo, A.; Deluchi, M. y Laurencena, P.; UTN-FRLP | 425 |
| 8 | Calidad de agua de recreación del Río Paraná de las Palmas. Elorriaga, M.; Varanese, C. y Romano, G.; UTN-FRD   | 435 |

- |    |  |     |
|----|--|-----|
| 9  | Riego alternativo con agua residual para flores. Moya. N., Neme N., Murillo. M., Gianetto. E., Vega Caro. L.; UTN-FRT  | 447 |
| 10 | Propuesta de un marco normativo nacional para el reuso de aguas residuales, desde la perspectiva de los presupuestos mínimos. Sartor, A. y Cifuentes, O.; UTN-FRBB | 459 |

### I. Modelos matemáticos aplicados

- |   |   |     |
|---|---|-----|
| 1 | Control óptimo de canales de riego mediante una técnica estocástica de optimización global. Martorana, J. y Cortínez, V.; UTN-FRBB  | 471 |
| 2 | Estudio de la calidad del agua producto de los procesos mineros: implementación de un modelo de simulación dinámica. Milin, E.; Quiroga, S.; Capati, N.; Tempestilli, F.; Viegas, L. y Zakhem, Y.; UTN-FRBA                           | 481 |
| 3 | Análisis de prioridades para la construcción de plantas de tratamiento de efluentes cloacales en el tramo concordia-concepción del Uruguay del río Uruguay. Zabalett, A.; Cardini, J.; Cardini, C. y Oliver, N.; UTN-FRCU             | 493 |
| 4 | Incidencia en la calidad de agua del Río Uruguay de las descargas cloacales de las ciudades de Concordia y Salto. Zabalett, A.; Cardini, J.; Mársico, D; y Oliver, N.; UTN-FRCU   | 503 |
| 5 | Afectación de la calidad de agua en las costas de Colón y Concepción del Uruguay debido a los impactos bacteriológicos causados por descargas cloacales e industriales. Zabalett, A.; Cardini, J.; Oliver, N. y Cardini, C.; UTN-FRCU | 513 |
| 6 | Un modelo computacional para el estudio de contaminación en cuerpos de aguas poco profundas. Stocklas, C. y Cortínez, V.; UTN-FRBB  | 523 |

### J. Comunicaciones

- |   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | Potencial contaminación causada por pilas y baterías enterradas, sobre aguas superficiales y napas freáticas. Luján, J.; UTN-FRT   | 533 |
| 2 | Proyecto: Estudio de la dinámica (espacial y temporal) de los efluentes líquidos industriales y urbanos en la zona del polo petroquímico y área portuaria de Bahía Blanca. Cifuentes, O.; Escudero, D. y Medus, S.; UTN-FRBB | 539 |
| 3 | Proyecto: Sistemas de tratamiento alternativos para aguas subterráneas y efluentes domiciliarios, industriales y agropecuarios. Panigatti, M.; Boggione, M.; Griffa, C.; Boidi, M.; Cassina, D. y Schierano, M.; UTN-FRRA    | 547 |
| 4 | Presentación de Arg. CAP NET. Cifuentes, O. y Sartor, A.; UTN-FRBB   | 551 |
| 5 | Laboratorio de Química. Panigatti, M.; Boggione, R.; Griffa, C.; Gentinetta, F.; Boidi, M.; Cassina, D.; Schierano, C.; UTN-FRRA   | 555 |
| 6 | Laboratorio de química y microbiología de aguas y efluentes Facultad Regional Villa Varía U.T.N. Marín, G.; Moyano, S.; Pegoraro, L.; Pusetto, E.; Brussa, D.; Debernardi, A.; Márquez, M.; UTN-FRVM                         | 561 |

## TERCERA PARTE: RESÚMENES

### A. Radiaciones no ionizantes, UV y radiometría

- |   |   |     |
|---|---|-----|
| 1 | Comparación de los niveles de radiación no ionizantes de varias provincias de la República Argentina. Fernández, J.; Gimenez, W. y Manassero U.; UTN-FRSF | 566 |
|---|---|-----|

2	Contaminación electromagnética: diseño de una herramienta computacional para la determinación de mapas de densidad electromagnética. Baldini, P.; Galasso, C.; Chaparro, M. y Silva Bustos, M.; UTN-FRBB	567
3	Las mediciones de RNI a gran escala. Desarrollo, resultados y conclusiones obtenidas en una campaña de mediciones en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Aguirre, A.; Dalmas di Giovanni, N. y Rubial, L.; CITEDEF	568
4	Diseño de una cámara de radiación UV para envejecimiento artificial de materiales poliméricos. Manassero, U.; Steinmann, I. y Germán, E.; UTN-FRSF	569
5	Diseño y construcción de un banco óptico para calibración y caracterización de instrumentos radiométricos. Wolfram, E.; Dworniczak, J.; Repetto, C.; Orte, P.; Raponi, M.; Salvador, J.; D'Elia, R.; Vásquez, P. y Quel, E.; CITEDEF-CONICET; UNPA; UTN-FRBA	570
6	Instalación de un radiómetro de ondas milimétricas para medir perfiles de ozono en Río Gallegos, Argentina. Orte, P.; Salvador, J.; Wolfram, E.; D'Elia, R.; Nagahama, T.; Kojima, Y.; Tanada, R.; Kuwahara, T.; Morihira, A.; Quel, E. y Mizuno, A.; CITEDEF-CONICET; UNPA; U. Nagoya, Japón; ULVAC, Japón	571
<b>B. Cambio global, re-ingeniería climática, y energía</b>		
7	Eficiencia energética en el uso de la energía para el combate de heladas en la zona este de Mendoza. Álvarez, L.; Silva Colomer, J.; López, G.; Fernández, J.; Gómez Girini, R. y Polizzi, M.; UTN-FRM	572
8	Influencia de la dinámica poblacional sobre las emisiones antrópicas de carbono. Puliafito, S. y Castesana, P.; UTN-FRBA	573
9	Forzantes externos al planeta y variabilidad climática: PID-UTN. Cionco, R.; Compagnucci, R.; Rodríguez, R.; Velasco-Herrera, V.; Silvestri, G. y Agosta, E.; UTN-FRSN, UBA, UNAM-México, UCA	574
10	Modelación regional de inyección de aerosoles de sulfato para reducción de la temperatura media global en forma artificial. Mulena, G.; Puliafito, S. y Lakkis, G.; UTN-FRM, UCA	575
11	Proyecto de re-ingeniería para la estimulación climática del incremento de precipitaciones por técnicas artificiales (PRECIPITA). Pérez, R.; UTN-FRM	576
<b>C. Ruido urbano y contaminación sonora</b>		
12	Monitoreo del ruido audible en la ciudad de Santa Fe. Zóttico, A.; Acosta, D. y Manassero U.; UTN-FRSF	577
13	Un modelo de difusión anisotrópica de tráfico urbano: Impacto acústico. Cortínez, V. y Domínguez, P.; UTN-FRBB	578
14	Caracterización de la contaminación sonora en el interior de un establecimiento educativo del microcentro de la ciudad de Mendoza. Boschi, C.; Robles, M.; Bologna, R.; Antivilo, M. y Ormeño, L.; UTN-FRM.	579
15	Desarrollo y calibración de un modelo acústico para una zona residencial-industrial. Cortínez, V.; Sequeira, M.; Azzurro, M. y Pons, F.; UTN-FRBB	580
16	Contaminación sonora en distintos ámbitos. Serra, M.; Verzini, A.; Pérez Villalobo, J.; Henin, C y Petiti, Y.; UTN-FRC	581
17	La técnica de intensimetría sonora y su posible aplicación al cálculo de la inmisión sonora. Pérez Villalobo, J.; Serra, M. y Ramos, O.; UTN-FRC	582

**D. Estudios de calidad del aire**

18	Calidad de aire en el centro de Santa Fe y la influencia del arbolado urbano en la captación de contaminantes. Rusillo, S.; Ghirardi, R.; Enrique, C.; Pacheco, C. y Caminos, J.; UTN-FRSF	583
19	Análisis de la distribución espacial y temporal del particulado sólido en suspensión según tamaño en el arbolado urbano de San Juan y Mendoza. Moreno, G. y Martínez Carretero, E.; IADIZA-CCT Mendoza	584
20	Campaña de muestreo de aerosoles en la cuenca atmosférica del área metropolitana de Buenos Aires. Pereyra, V.; Dawidowski, L.; Gómez, D.; Polla, G. y Smichowski, P.; CNEA	585
21	Estudio de la calidad del aire del centro de Santa Fé: análisis para períodos de 24 horas. Ghirardi, R.; Pacheco, C.; Rusillo, S.; Enrique, C. y Caminos, J.; UTN-FRSF	586
22	Monitoreo ambiental en la ciudad de San Nicolás -zona sur: un trabajo en equipo universidad-empresas. Quaranta, N.; Unsen, M. y Alesio, G.; UTN-FRSN	587
23	Calidad del aire en áreas urbanas e industriales en la provincia de Buenos Aires. Estudio comparativo entre La Plata y Bahía Blanca. Colman, E.; Morales, A.; Aguilar, M.; Barrionuevo, P.; Ditondo, J.; Porta, A.; Massolo, L y Dodero, V.; CIMA, UNS, UNLP.	588
24	Aerosoles marinos en el área metropolitana de Buenos Aires (AMBA). Dos Santos, M.; Gómez, D.; Dawidowski, L. y Smichowski, P.; CNEA	589
25	Mapa de riesgos a la salud humana considerando la dispersión de material particulado PM10: un caso de estudio. Diez, S.; Fonseca, J. y Britch, J.; UTN-FRC	590
26	Influencia del empleo de diferentes combustibles en las emisiones gaseosas de calderas en la provincia de Córdoba. Vidal, D.; Pagnan, M.; Minetti, R.; Fonseca, J. y Macaño, H.; UTN-FRC	591
27	Emisiones de PCDD/PCDF debido a la incineración de residuos patógenos en Argentina. Minetti, R.; Fonseca, J.; Vidal, D.; Allende, C. y Macaño, H.; UTN-FRC	592
28	Determinación in-situ de metales pesados en material particulado emitidos por fuentes puntuales. Minetti, R.; Pagnan, M.; Piccioni, M. y Britch, J.; UTN-FRC	593
29	Estudio sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en La Plata. Reyna Almandos, J.; Arrieta, N.; Sacchetto, V.; Garcimuño, M.; Bertucelli, G.; Orte, M. y Santágata, D.; UNLP, UTN-FRLP	594
30	Análisis de estimación de concentración de contaminantes en chimenea de ingenio de Tucumán. Murillo, M.; Gianetto, E.; Neme, N.; Moya, N. y Vega Caro, L.; UTN-FRT	595
31	Inventario de emisiones por quema de biomasa y estimación de su influencia en la calidad de aire en la provincia de Tucumán. Cremades, P.; Puliafito, S. y Allende, D.; UTN-FRM.	596
32	Polvos sedimentables (PS) en San Miguel de Tucumán. Neme, N.; Moya, N.; Murillo, M.; Gianetto, E.; Vega Caro, L.; UTN-FRT.	597
33	Análisis de emisiones durante la producción de cerámicos con agregados de residuos industriales. Quaranta, N.; Caligaris, M.; Unsen, M. y Lalla, S.; UTN-FRSN.	598

**E. Modelos matemáticos aplicados**

34	Dinámica de material particulado grueso. Cionco, R.; Quaranta, N. y Caligaris, M; UTN-FRSN	599
35	Modelado de la concentración de PM10 considerando la variabilidad estocástica de las variables atmosféricas y de emisión. Diez, S.; Ré, M. y Britch, J.; UTN-FRC	600
36	Modelado de la distribución vertical de las emisiones gaseosas antropogénicas en regiones topográficamente complejas. Fernandez, R.; Allende, D.; Castro, F.; Cremades, P. y	601

	Puliafito, S.; UTN-FRM	
37	Validación del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) para la determinación del contenido de vapor de agua atmosférico en Mendoza. Puliafito, S.; Allende, D. y Cremades, P.; UTN-FRM	602
38	Planeamiento del manejo de emergencias en ciudades: acoplamiento de modelos de transporte y exposición. Sánchez, E.; González, E.; Porta, A.; Acquesta, A. y Jacovkis, P.; CIMA, UNLP, CIREDEF, UBA	603
39	Emisión de humos hacia la atmósfera y los posibles daños a la salud causados por la quema de cubiertas. Luján, J.; UTN-FRT	604
40	Especiación química de emisiones para su inclusión en WRF/Chem. Castro, F.; Fernandez, R.; Allende, D. y Cremades, P.; UTN-FRM	605
41	Riesgo de acidificación en Argentina a través de modelado: factores de caracterización dependientes del sitio como indicadores de impacto. Allende, D.; Civit, B. y Puliafito, S.; UTN-FRM	606

## SESIONES PRODECA

### F. Contaminación de aguas subterráneas

42	Origen de la contaminación por nitratos del agua subterránea en Salsipuedes – Córdoba. López, C. y Macaño, H.; UTN-FRC	607
43	Calidad de aguas subterráneas de la cuenca del Río Tercero o Ctalamochita. Evaluación de parámetros físico químicos y microbiológicos en 10 años. Marín, G.; Moyano, S.; Brussa, D.; Debernardi, A. y Bergero, R.; UTN-FRVM	608
44	Evolución química del agua subterránea en el sureste de La Plata (Provincia de Buenos Aires). Laurencena, P.; Deluchi, M.; Rojo, A.; Carol, E.; Kruse, E.; Bazán, J.; Alberino, J.; Varriano, N. y Cariello, J.; UTN-FRLP	609
45	Diagnóstico de calidad del agua subterránea y gestión del recurso hídrico en el noroeste de la provincia de Buenos Aires (caracterización de los centros urbanos). Moschione, E.; Picco, P.; Leiva, S. y Zamora, A.; UTN-CEMDP, UTN-FRTL	610
46	Estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca oeste de la provincia de Santa Fe. Boglione, R.; Panigatti, M.; Griffa, C.; Cassina, D.; UTN-FRRA	611

### G. Técnicas de análisis y métodos de abatimiento

47	Aplicación catalítica y fotocatalítica de óxidos mixtos de hierro y MCM-41 para la degradación de fenól en solución acuosa. Agú, U.; Zannier, M.; Casuscelli, S. y Crivello, M.; UTN-FRC	612
48	Abatimiento de arsénico en aguas subterráneas mediante arcillas naturales y hierro cerivalente. Bressan, S.; Domingo, E.; Pelissero, M.; Meichtry, J.; Reina, F.; De Seta, G.; Mugrabi, F. y Castiglia, M.; UTN-FRBA	613
49	Remediación de agua subterránea contaminada con BTX y MTBE mediante oxidación química in-situ (ISCO) utilizando ferrato. Minetti, R.; Campos, G.; Pagnan, M.; Macaño, H. y Britch, J.; UTN-FRC	614
50	Análisis físico-químico de membranas de ósmosis inversa empleada en potabilización de agua. Dominighini, C.; Muscia, L.; Cataldi, Z.; Scurati, C.; Armas, A.; Olivero, M.; Gottardo, M.; Damiano, P. y Di Zeo, G.; UTN-FRBA	615

- 51 Síntesis de silicatos mesoporosos MCM-41 para la degradación fotocatalítica de contaminantes en solución acuosa. Elías, V.; Sabre, E.; Ortiz, L.; Casuscelli, S. y Eimer, G.; UTN-FRC 616
- 52 Comparación de técnicas del número más probable y filtración de membrana para análisis microbiológico de agua. Moyano, S.; Marin, G. y Pegoraro, L.; UTN-FRVM 617

#### H. Análisis y contaminación de aguas superficiales

- 53 Potencial contaminación causada por pilas y baterías enterradas, sobre aguas superficiales y napas freáticas. Luján, J.; UTN-FRT 618
- 54 Influencia del relleno sanitario de la ciudad de Rafaela en la calidad de las aguas subterráneas. Panigatti, M.; Boglione, R.; Griffa, C.; Cassina, D. y Schierano, C.; UTN-FRRA 619
- 55 Estudio de los sedimentos en el tramo rectificado del arroyo Sarandí y determinación de la pluma en el Río de la Plata. Naser, M.; Speltini, C.; Coppo, G.; Machalec, J. y Sánchez, C.; FRA 620
- 56 Estudio hidrológico y calidad de agua de las cuencas del arroyo el Pescado y del Gato en los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada. Bazán, J.; Alberino, J.; Varriano, N.; Cariello, J.; Kruse, E.; Rojo, A.; Deluchi M. y Laurencena, P.; UTN-FRLP 621
- 57 El arroyo Sarandí: diagnóstico ambiental. Speltini, C.; Naser, M.; Coppo, G.; Machalec, J.; Sanchez, C. y Alonso, A.; FRA 622
- 58 Monitoreo del agua de red de la ciudad de villa maría en 10 años. Marín, G.; Moyano, S.; Pegoraro, L.; Pussetto, E.; Brussa, D. y Debernardi, A.; UTN-FRVM 623
- 59 Ciudades costeras de interés turístico y su vinculación con el recurso hídrico. Caso Pehuen-Co. Sartor, A. y González, M.; UTN-FRBB 624
- 60 Concentración de nitratos en aguas naturales. Bazán, J.; Alberino, J. y Batistessa, G.; UTN-FRLP 625
- 61 Balance negativo del oxígeno disuelto del Río Salí durante el período de zafra azucarera. Luján, J.; UTN-FRT 626
- 62 Calidad del agua de la laguna Los Lirios – Chaco. Hervot, E.; Roshdestwensky, S.; Farías, A.; Tenev, M.; Utgés, E.; Utgés, E.; Prieto, L.; UTN-FRRE 627
- 63 Calidad de agua de recreación del Río Paraná de las Palmas. Elorriaga, M.; Varanese, C. y Romano, G.; UTN-FRD 628

#### I. Modelos matemáticos aplicados

- 64 Control óptimo de canales de riego mediante una técnica estocástica de optimización global. Martorana, J. y Cortínez, V.; UTN-FRBB 629
- 65 Un modelo computacional para el estudio de contaminación en cuerpos de aguas poco profundas. Stoklas, C. y Cortínez, V.; UTN-FRBB. 630
- 66 Estudio de la calidad del agua producto de los procesos mineros: implementación de un modelo de simulación dinámica. Milin, E.; Quiroga, S.; Capati, N.; Tempestilli, F.; Viegas, L. y Zakhem, Y.; UTN-FRBA 631
- 67 Riego alternativo con agua residual para flores. Moya. N., Neme N., Murillo. M., Gianetto. E., Vega Caro. L.; UTN-FRT 632

#### J. Efluentes industriales y domiciliarios

- 68 Análisis de prioridades para la construcción de plantas de tratamiento de efluentes cloacales en el tramo concordia-concepción del Uruguay del río Uruguay. Zabalett, A.; Cardini, J.; 633

- Cardini, C. y Oliver, N.; UTN-FRCU
- 69 Incidencia en la calidad de agua del Río Uruguay de las descargas cloacales de las ciudades de Concordia y Salto. Zabalett,A.; Cardini, J.; Mársico, D; y Oliver, N.; UTN-FRCU 634
- 70 Afectación de la calidad de agua en las costas de Colón y Concepción del Uruguay debido a los impactos bacteriológicos causados por descargas cloacales e industriales. Zabalett,A.; Cardini, J.; Oliver, N. y Cardini, C.; UTN-FRCU 635
- 71 Proyecto: Sistemas de tratamiento alternativos para aguas subterráneas y efluentes domiciliarios, industriales y agropecuarios. Panigatti, M.; Boglione, M.; Griffa, C.; Boidi, M.; Cassina, D. y Schierano, M.; UTN-FRRA 636
- 72 Proyecto: estudio de la dinámica (espacial y temporal) de los efluentes líquidos industriales y urbanos en la zona del polo petroquímico y área portuaria de Bahía Blanca. Cifuentes, O.; Escudero, D. y Medus, S.; UTN-FRBB 637

#### **K. Institucionales y marco normativo**

- 73 Laboratorio de química y microbiología de aguas y efluentes Facultad Regional Villa Varía U.T.N. Marín, G.; Moyano, S.; Pegoraro, L.; Pusetto, E.; Brussa, D.; Debernardi, A.; Márquez, M.;UTN-FRVM. 638
- 74 Laboratorio de Química. Panigatti, M.; Boglione, R.; Griffa, C.; Gentinetta, F.; Boidi, M.; Cassina, D.; Schierano; C.; UTN-FRRA 639
- 75 Presentación de Arg. CAP NET. Cifuentes, O. y Sartor, A.; UTN-FRBB 640
- 76 Conflictos y política de gestión del agua. Gobernanza territorial y desarrollo en torno a la crisis del recurso. Bustos Cara, R.; Sartor, A.; Cifuentes, O.; Campaña, H.; Di Martino, C.; Epulef, R.; Frank, C.; González, M.; Torres, N. y Zalba, S.; UTN-FRBB 641
- 77 Propuesta de un marco normativo nacional para el reuso de aguas residuales, desde la perspectiva de los presupuestos mínimos. Sartor, A. y Cifuentes, O.; UTN-FRBB 642



**PRIMERA PARTE**

**ARTÍCULOS COMPLETOS**

**PROIMCA**





## COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIÓN NO IONIZANTES DE VARIAS PROVINCIAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

**Manassero<sup>1\*</sup>, Ulises; Fernández<sup>1</sup>, Juan y Giménez<sup>1</sup>, Walter**

1: Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia

Facultad Regional Santa Fe

Universidad Tecnológica Nacional

Lavaisse 610, CP S3004EWB

e-mail: ulisesmanassero@hotmail.com, jpfernan@frsf.utn.edu.ar, wgimenez@frsf.utn.edu.ar

**Palabras clave:** Radiaciones no ionizantes, Densidad de Potencia, Mediciones

**Resumen.** *Las radiaciones no ionizantes constituyen actualmente un medio físico indispensable para el desarrollo y la mejora en la calidad de vida de una sociedad. Las ondas de radiofrecuencia y las microondas tienen aplicación directa en las telecomunicaciones y algunos electrodomésticos. Por otra parte, aún se encuentra en etapa de estudio sus posibles perjuicios a la salud, ante su exposición permanente (poblacional). El Laboratorio Ambulante de Mediciones de Campos Electromagnéticos y Ruido Audible (LAMCEM), viene realizando mediciones en un gran número de provincias de la república Argentina desde hace más de diez años, lo cual le confiere una amplia experiencia en el tema. Este trabajo muestra los resultados obtenidos en los planes de mediciones que se llevaron a cabo sobre una compañía de telefonía celular, en más de 180 localidades pertenecientes a ocho provincias. A partir de un análisis estadístico exhaustivo referente a la radiación máxima emitida por los irradiantes de cada uno de los sitios de comunicaciones, se identificaron aquellas localidades que poseen los mayores niveles de radiación. Un estudio de correlación lineal posterior permitió evaluar la posible interrelación entre los valores de densidad de potencia registrados y ciertos índices demográficos y de desarrollo industrial de la región, entre otros.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La radiación de radiofrecuencia (RF), energía electromagnética y microondas se utiliza en diversas aplicaciones en la industria, comercio, medicina e investigación, así como en el hogar. En la gama de frecuencia de 3 a 300 [GHz] se encuentran aplicaciones muy diversas tales como las emisiones de radio y televisión, comunicaciones, radar, calentadores dieléctricos, calentadores de inducción, fuentes de alimentación conmutadas y monitores de ordenador, entre otros [1].

En este ámbito, la rápida difusión de los sistemas de comunicaciones inalámbricos tales como la telefonía celular y las redes locales de internet inalámbricas (WLAN), han generado un mayor interés. Esto se debe a los efectos potencialmente perjudiciales sobre la salud humana derivadas de la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por las antenas de esos sistemas [2].

Con referencia a los sistemas de telecomunicación celular, se presentan dos condiciones de exposición diferentes. La primera es la exposición de la cabeza del usuario al teléfono celular y la segunda es la exposición general y permanente de la población a los CEM irradiados por las antenas instaladas en las estaciones base. La potencia absorbida por la cabeza del usuario

debida al CEM irradiado por la antena del teléfono celular, ha sido extensamente estudiado [3, 4, 5], mientras que la evaluación de la exposición humana a la radiación emitida por las estaciones base, que operan principalmente en áreas urbanas, aún hoy es un tema que debe comenzar a estudiarse con mayor detalle.

Estos niveles de exposición resultan variables, dependiendo de la distancia a las fuentes, la presencia de estructuras pasivas, que intensifican o reducen las amplitudes de las ondas, la posición relativa a la orientación de la antena, entre otros factores [6].

Numerosas investigaciones han reportado posibles efectos nocivos a nivel molecular, celular de procesos inmunes y sobre los sistemas nervioso [7], endocrino, reproductivo; alteraciones del sueño, el ritmo cardíaco y la permeabilidad de la barrera sangre-cerebro [8]. De todos modos, pese a ser un tema ampliamente estudiado desde hace años, muchos de los resultados no son concluyentes debido a la complejidad de las interacciones y a que las relaciones dosis-respuesta resultan no lineales. Esto implica que la influencia de los CEM no ionizantes y sus efectos sobre el medio ambiente de manera general y sobre la salud humana en particular, es uno de los temas de mayor discusión y estudio de la actualidad [9].

En la República Argentina ya han transcurrido más de dos décadas desde la aparición de los celulares. Su consumo masivo en el mercado ha crecido de manera vertiginosa y sin precedente alguno; hasta el día de hoy parece no encontrar límites que reviertan la tendencia de consumo de este artefacto tecnológico.

Tanto es así que según el último informe del Instituto Nacional de Estadística y Censos (Indec<sup>1</sup>) actualmente hay en el país más teléfonos celulares que habitantes. Según cifras oficiales, en 2009 el número de celulares alcanzó las 50.409.800 unidades.

La población estimada a junio de 2009 es de 40.134.425 habitantes. De modo que existía en nuestra población 1,25 celulares por persona ya en el año 2009. Expresado de otro modo, representa cinco celulares cada cuatro habitantes. De esta manera, el sector telefónico siguió al tope de la expansión en el consumo de servicios públicos, con un incremento del 8,7% respecto a noviembre del 2008.

En este contexto el LAMCEM, que posee más de 10 años compenetrados en el estudio y medición de CEM, llevó a cabo mediciones de densidad de potencia ( $S$ ) en estaciones de base de antenas celulares en más de 180 ciudades pertenecientes a ocho provincias. El propósito fue la evaluación de la  $S$  presente en las inmediaciones de las estaciones base y su comparación con los valores máximos permisibles.

Se presentan además los resultados de un análisis estadístico y comparativo que intenta evaluar posibles dependencias entre los valores de  $S$  registrados, las variables que pueden representar las causas probables de su magnificación y otras variables que pueden llegar a correlacionarse con sus efectos adversos asociados.

## **2. NIVELES MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN ADMISIBLES SEGÚN NORMATIVAS.**

Las recomendaciones más conocidas para la exposición humana a los CEM de alta frecuencia son las estipuladas por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) [10] y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) [11]. Estos organismos han estudiado en forma conjunta con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los efectos en la salud de la radiación no ionizante. Sus recomendaciones se

---

<sup>1</sup>

[www.indec.mecon.ar](http://www.indec.mecon.ar)

encuentran principalmente focalizadas a los efectos de corto plazo, de acuerdo a los cuales se establecen los niveles máximos de la tasa específica de absorción por unidad de masa (SAR) o de magnitudes referidas (por ejemplo, el campo eléctrico en función de la frecuencia) [12].

### 3. PLAN DE MEDICIONES

El LAMCEM, de acuerdo a un convenio de trabajo formalizado con una importante empresa de comunicaciones, realizó mediciones de densidad de CEM en más de 180 ciudades pertenecientes a las provincias de Chaco, Formosa, Misiones, Salta, Tucumán, Entre ríos, Corrientes y Santa Fe.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los valores obtenidos con el fin de realizar estudios de correlación con variables demográficas de cada una de las regiones incluidas en el plan de mediciones, tales como: tasa bruta de mortalidad, densidad de población, índice de desarrollo humano (IDH<sup>2</sup>), PBI per cápita por provincia.

#### 3.1. Valores de densidad de potencia registrados en las diferentes ciudades

El plan de mediciones consistió en la medición de estaciones de base de antenas de telefonía celular. En cada ciudad se relevaron como mínimo, un sitio de comunicaciones y un máximo de 20, en función a la densidad poblacional de la ciudad en cuestión.

Las ciudades que arrojaron los valores máximos de  $S$ , fueron las siguientes:

- Santa Fe: los valores máximos se registraron en las ciudades de Franck  $-0,0026$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-, Baigorria  $-0,0018$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-, - y Santa Fe  $-0,0013$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-.
- Misiones: registró su valor máximo en la ciudad capital de Posadas ( $0,0022$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]).
- Tucumán: los valores máximos se registraron en las ciudades de San Miguel de Tucumán  $-0,0008$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]- y La Florida  $-0,0004$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-.
- Entre Ríos: los valores máximos se registraron en las ciudades de Concordia  $-0,0009$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]- y Paraná  $-0,0008$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-.
- Formosa: los valores máximos se registraron en las ciudades de Formosa  $-0,0008$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]- y Villa Dos Trece  $-0,0006$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-.
- Corrientes: los valores máximos se registraron en las ciudades de Corrientes  $-0,0023$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]- y Tabay  $-0,0008$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-.
- Chaco: los valores máximos se registraron en las ciudades de Colonia Cabral Cue  $-0,0015$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-, Margarita Belén  $-0,0013$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]- y Pampa Almirón  $-0,0013$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-.
- Salta: los valores máximos se registraron en las ciudades de Salta  $-0,0005$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]- y San Carlos  $-0,0003$  [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]-.

En las figuras 1 y 2 se presentan, a título comparativo, los valores máximos de  $S$  medidos en cada una de las ciudades de las provincias de Corrientes y Misiones respectivamente.

---

<sup>2</sup> El IDH es un indicador social estadístico compuesto por tres parámetros: Vida larga y saludable, Educación y Nivel de vida digno.

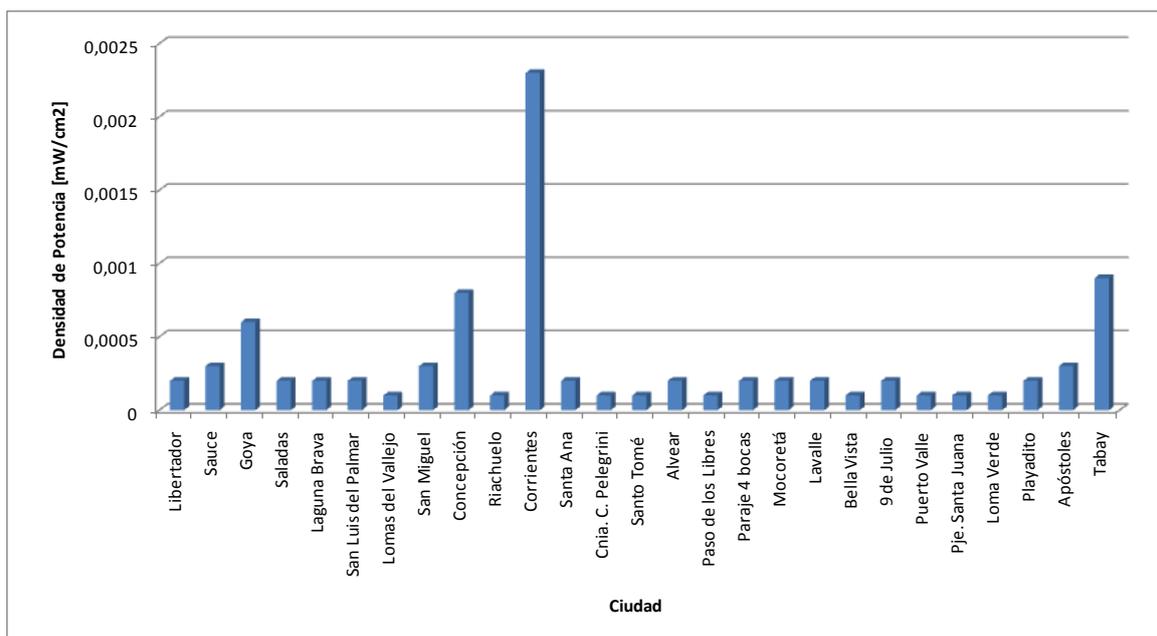


Figura 1. Valores máximos de densidad de potencia en ciudades de la provincia de Corrientes

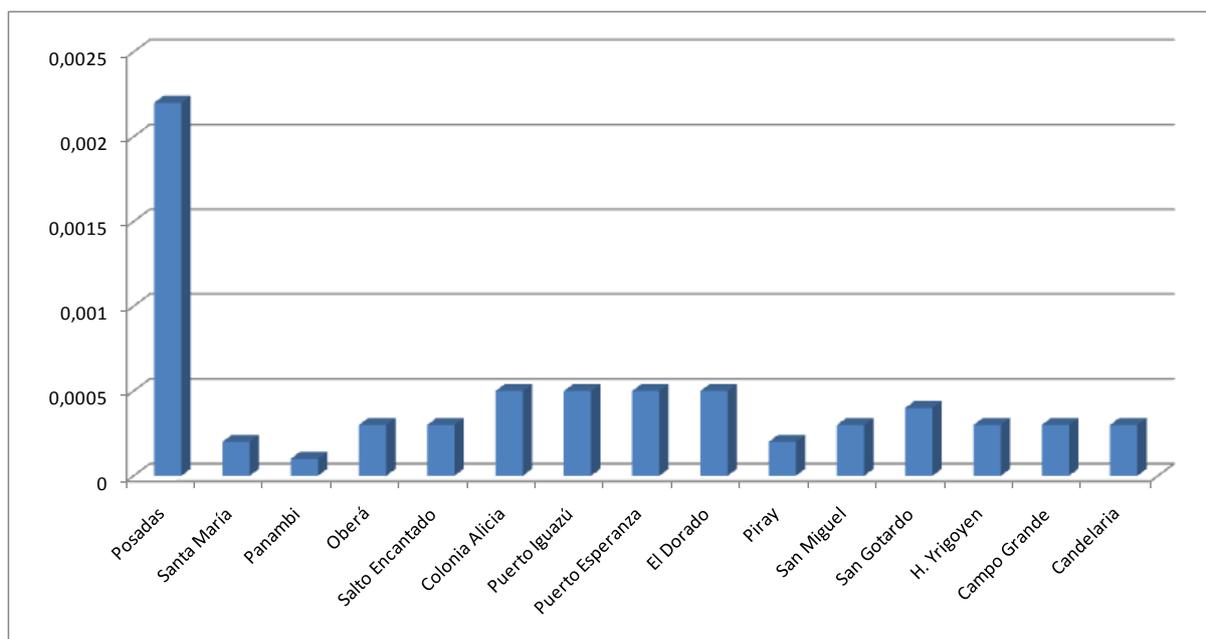


Figura 2. Valores máximos de densidad de potencia en ciudades de la provincia de Misiones

**Observación:** De acuerdo a las figuras anteriores puede deducirse que se presenta como generalidad que las ciudades capitales de las provincias relevadas presentan los niveles de  $S$  máximos. Duplicando en la mayoría de los casos a aquellos niveles máximos registrados en otras ciudades de esas mismas provincias.

### 3.2. Comparación con los valores máximos admitidos por la normativa vigente.

Para el caso particular de telefonía móvil, con frecuencias de trabajo que rondan entre los 850 y 1900 [MHz], la Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC), a través de su resolución 3690 del año 2004 y en concordancia con la Resolución 202 del año 1995 del Ministerio de Salud y Acción Social, establece para exposición poblacional un valor máximo permitido de  $S$ . La ecuación 1 se aplica para el cálculo del valor máximo permitido. En el caso particular de las antenas de telefonía celular, los umbrales admisibles son de 0,425 [mW/cm<sup>2</sup>] –para frecuencias de 850 [MHz]- y 0,9500 [mW/cm<sup>2</sup>] –para frecuencia de 1900 [MHz]-.

$$S = \frac{f}{200C} \quad (1)$$

Con respecto a este valor, todas las mediciones arrojaron valores que se encuentran muy por debajo de este máximo. En el supuesto de considerar el caso más desfavorable, o sea, para antenas con frecuencias de trabajo de 850 [MHz]; el valor máximo registrado en el plan de mediciones (0,0023 [mW/cm<sup>2</sup>]) es aproximadamente unas 180 veces menor al máximo admitido (0,425 [mW/cm<sup>2</sup>]).

### 4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS VALORES MÁXIMOS REGISTRADOS.

Con relación al conjunto de datos recabados en el plan de mediciones, posteriormente se llevó a cabo un análisis estadístico, con el fin de obtener las variables estadísticas de cada provincia correspondientes a: valor medio, valor máximo y valor de la moda.

Según se observa en la figura 3, las provincias de Misiones y Corrientes registran los valores máximos de  $S$ , con 0,0023 [mW/cm<sup>2</sup>] y 0,0022 [mW/cm<sup>2</sup>] respectivamente.

Por otra parte, la provincia de Misiones registra el valor más elevado de moda, o sea, aquél valor que se repite con mayor frecuencia, el cual alcanza los 0,0003 [mW/cm<sup>2</sup>].

Resulta importante destacar que si bien las provincias de Chaco y Formosa no registran los valores máximos de  $S$ , poseen los valores promedios más elevados que otras provincias con magnitudes máximas superiores, tales como es el caso de Misiones (ver figura 4). Estos resultados pueden explicarse a partir de que probablemente las mediciones en las provincias de Formosa y Chaco se realizaron en ciudades con una densidad poblacional al menos moderada, de modo que justifique un tráfico de comunicaciones importante. Otros factores que pueden justificar estos niveles mayores pueden deberse en las condiciones de instalación de las antenas –menores alturas y/o mayor número de irradiantes montados sobre una torre de comunicaciones-.

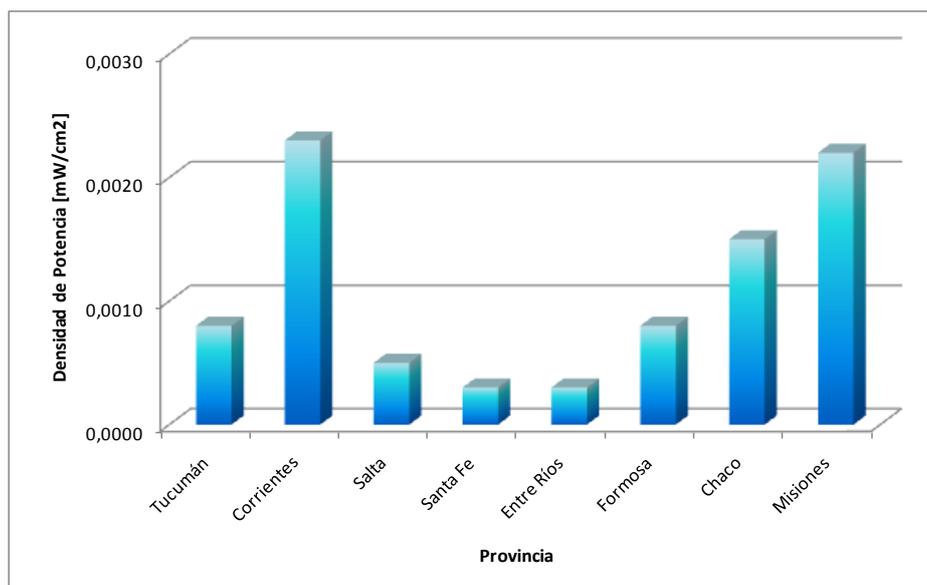


Figura 3. Valores máximos de densidad de potencia en cada provincia

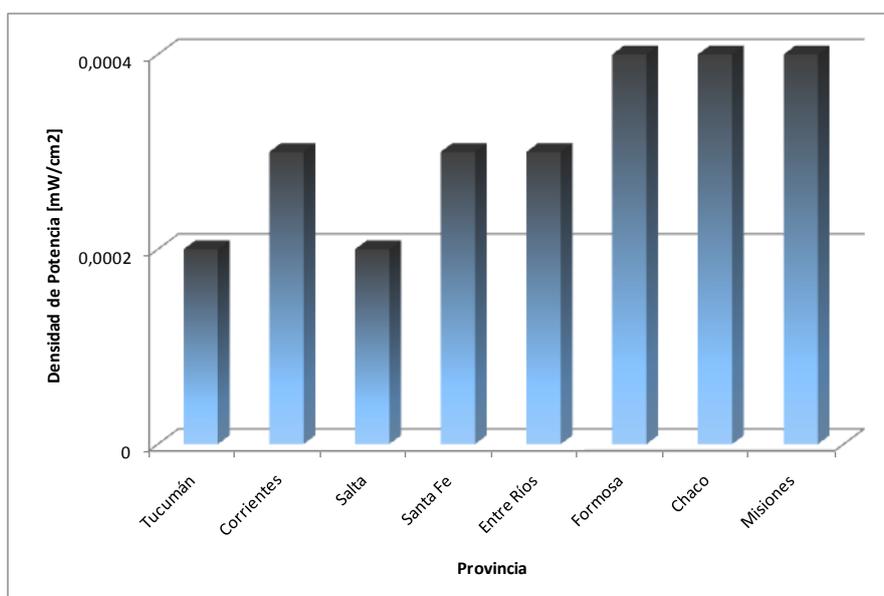


Figura 4. Valores promedios de densidad de potencia en cada provincia

## 5. ESTUDIO DE CORRELACIÓN ENTRE LA VARIABLE DENSIDAD DE POTENCIA Y OTRAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS.

### 5.1. Cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson.

El estudio de correlación consistió en analizar la posible relación lineal existente entre los niveles de  $S$  registrados con respecto a determinadas variables demográficas que puedan representar las causas de tales niveles de emisión (PBI, IDH, densidad poblacional), así como también aquellas otras que arrojen algún indicio de sus efectos (tasa bruta de mortalidad).

Entonces, se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r$ ), cuyo valor oscila entre  $-1$  y  $+1$ , que es un parámetro estadístico que permite cuantificar la intensidad de la relación lineal entre dos variables.

En su expresión de cálculo, presentada por la ecuación 2, interviene la covariancia de las variables ( $Cov(X,Y)$ ) y su variancia correspondiente ( $s_x$  y  $s_y$ ).

$$r = \frac{Cov(X,Y)}{s_x \cdot s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

El análisis de correlación se realizó entre las variables  $S$  máxima y promedio obtenida para cada una de las provincias y las variables demográficas anteriormente mencionadas.

Se buscó identificar si alguna de estas variables manifiesta un comportamiento lineal en su variación con relación a la  $S$  registrada, de modo de realizar inferencias como por ejemplo entre aquellas variables que representan el desarrollo económico y estado de bienestar de la población, tales como el IDH y el PBI, con lo cual se podría justificar el aumento en el uso de la telefonía celular como consecuencia del mayor flujo comercial y poder adquisitivo de la sociedad, tal que permita el acceso a esta tecnología de comunicación a una mayor porción de habitantes.

Por otra parte, se intentó buscar alguna posible causalidad entre los niveles de radiación registrados y los índices de mortalidad de la región. No obstante, es dable acotar que, tal como se mencionó en párrafos anteriores, aún no hay estudios concluyentes que permitan arrojar un veredicto de la dosis de radiación absorbida por el cuerpo humano y patologías médicas, entre ellas, el cáncer.

También resulta importante analizar si existe alguna relación de proporcionalidad entre los niveles de radiación electromagnética y la densidad de población de la provincia, lo cual puede suponer una mayor cantidad de irradiantes o bien, un incremento notable en su potencia nominal de trabajo para satisfacer la demanda del tráfico de comunicaciones correspondiente. En la tabla 1, se muestra el  $r$  obtenido para el análisis de correlación entre las variables demográficas y la  $S$  promedio de CEM registrada en el plan de mediciones. Según los resultados se observa una relación negativa fuerte con el IDH. El resto de las variables presenta un tipo de correlación lineal muy débil con respecto a la variable  $S_{med}$ .

Variable demográfica	Densidad de Potencia Promedio	Tipo de Correlación
Densidad Poblacional	-0,36	Negativa débil
PBI	-0,34	Negativa débil
IDH	<b>-0,73</b>	<b>Negativa Fuerte</b>
Mortalidad	0,08	Positiva Débil

Tabla 1. Resultados del análisis de correlación entre variables demográficas y densidad de potencia media

## 5.2. Análisis de significación de la correlación fuerte.

Con el propósito de determinar si el  $r$  obtenido muestra que las variables  $S_{med}$  e IDH están efectivamente relacionadas o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar, se realizó posteriormente un análisis de significación de la correlación.

Un  $r$  se dice que es significativo si se puede afirmar, con una cierta probabilidad, que es diferente de cero.

Entonces, desde el supuesto de la Hipótesis nula la distribución muestral de correlaciones procedentes de una población caracterizada por una  $r=0$  sigue una ley de Student con  $N-2$  grados de libertad, de media el valor poblacional y desviación tipo.

En consecuencia, dado un cierto  $r$  obtenido en una determinada muestra se trata de comprobar si dicho coeficiente es posible que se encuentre dentro de la distribución muestral especificada por la Hipótesis nula.

A efectos prácticos, se calculó el número de desviaciones tipo ( $t$ ) que se encuentra el coeficiente obtenido del centro de la distribución, según la ecuación 3:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}} = \frac{0,73}{\sqrt{\frac{1-0,73^2}{82}}} \quad (3)$$

El valor obtenido fue comparado con el existente en las tablas para un cierto nivel de significación ( $\alpha$ ) y  $N-2$  grados de libertad, que marca el límite (baja probabilidad de ocurrencia, según la Hipótesis nula) de pertenencia de un cierto coeficiente  $r$  a la distribución muestra de correlaciones procedentes de una población con hipótesis nula.

$$t_{\text{tabla}} = 2,47 < t_{\text{obt.}} \quad (4)$$

Rechazamos la Hipótesis nula con un riesgo (máximo) de error del 0,05%. La correlación obtenida no procede de una población caracterizada por una correlación de cero. Concluimos, pues, que ambas variables ( $S_{med}$  e IDH) están relacionadas.

## 6. CONCLUSIONES

Los valores registrados en el plan de mediciones realizado en ocho provincias de la República Argentina son marcadamente inferiores a los máximos admisibles en la normativa nacional. En el caso más desfavorable, el valor máximo medido resulta 180 veces inferior al máximo permitido. Esto refleja que los niveles de contaminación por CEM de alta frecuencia para el caso de exposición permanente de la población son muy poco significativas respecto a los límites admisibles.

Las ciudades capitales de las provincias relevadas presentan los niveles de  $S$  máximos. En la mayoría de los casos sobrepasan en dos o más órdenes de magnitud a aquellos valores registrados en otras ciudades de esas mismas provincias.

De los resultados obtenidos en el estudio estadístico, las provincias de Misiones y Corrientes presentan los valores máximos de densidad de potencia registrados. No obstante, esto puede llevar a conclusiones erróneas, pues se trata de una muestra de distribución normal, dado que los parámetros estadísticos de media, mediana y moda son muy similares y los valores máximos se encuentran ampliamente distanciados de estos parámetros estadísticos.

Además los valores máximos no son representativos de la muestra ya que se encuentran fuera del 99,9% de los valores registrados –correspondientes a 3 desviaciones estándar-. Es decir, se tiene una gran desviación con respecto a los valores medios.

Por este motivo, los valores promedios y modales resultan más representativos de la muestra analizada. En este caso, Chaco y Formosa presentan los valores máximos promedios y por ello representan las provincias con mayores niveles de  $S$ .

El análisis de correlación lineal entre variables demográficas y la  $S$  registrada muestra que no existe una vinculación sustentable entre las variables de  $S$  y aquellas variables que pueden representar los efectos de tales CEM, como por ejemplo la tasa bruta de mortalidad.

Tampoco se observa una correlación importante entre la cantidad de antenas instaladas sobre la estación base y los niveles de potencia irradiados.

Respecto a la dependencia con aquellas variables que puedan justificar los niveles de CEM, tampoco se observa una correlación importante a excepción del IDH, que mantiene una correlación negativa fuerte. Esto se traduce en mayores niveles de  $S$  para IDH inferiores de la región. Las causas de tal dependencia lineal pueden corresponderse con controles poco exigentes de los organismos jurisdiccionales en lo que respecta a las condiciones de instalación (emplazamiento, altura de la torre) y monitoreo (instalación progresiva de nuevos irradiantes sobre la misma estructura soporte) de las estaciones de base de las antenas. Todo ello se relaciona con un inferior IDH de la población.

La insuficiente dependencia lineal entre las variables analizadas no invalida la posibilidad de otro tipo de correlación entre las mismas. En trabajos futuros se pretende estudiar la posibilidad de correlación no lineal (cuadrática, cúbica, etc) entre la variable  $S$  y las variables demográficas analizadas.

## REFERENCIAS

- [1] Beng Knave. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. *Chantal Dufresne*, pp. 49, (1998).
- [2] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa y E. Piuzzi. "Human exposure to radio base-station antennas in urban environment". *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*. vol.48, pp 1996 – 2002 (2000).
- [3] O. P. Gandhi, G. Lazzi, y C. M. Furse. "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 1884–1897, (1996).
- [4] M. Okoniewski y M. A. Stuchly, "A study of the handset antenna and human body interaction," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 1855–1864, (1996).
- [5] V. Hombach, K. Meier, M. Burkhardt, E. Kuhn y N. Kuster, "The dependence of EMenergy absorption upon human head modeling at 900 MHz," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 1865–1873, (1996).
- [6] C. Polk y E. Postow, "Biological Effects of Electromagnetic Fields Handbook". *CRC Press*, (1996).
- [7] J. D. Bronzino. "Biomedical Engineering Handbook". *IEEE Press*, (1995).
- [8] H. Lai. "Genetic Effects of Nonionizing Electromagnetic Fields". *International Workshop on Biological Effects of Ionizing Radiation. Electromagnetic Fields and Chemical Toxic Agents*, (2001).
- [9] Javier Torres Osorio y Luz Elena Agudelo "Situación actual de la contaminación electromagnética no ionizante en Colombia". *Scientia et Technica Año XIII*, No 35, (2007).
- [10] "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to RF Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz". *IEEE Standard C95*, (1999).
- [11] ICNIRP. "Guidelines for limiting exposure to time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300Gz)", *ICNIRP Guidelines*, (1998).

---

[12] A. Faraone, K. H., Roger Yew-Siow Tay Joyner, Q. Balzano, Q. “Estimation of the average power density in the vicinity of cellular base-station collinear array antennas”. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol 49, pp. 984, (2000).

## CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA: DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DE MAPAS DE DENSIDAD ELECTROMAGNÉTICA

Baldini<sup>1\*</sup>, Patricia N.; Galasso<sup>1</sup>, Christian L.; Chaparro<sup>1</sup>, Marcos y Bustos<sup>1</sup>, Matías Silva

1: Grupo de Estudio de Bioingeniería - Departamento de Electrónica  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de abril 461, Bahía Blanca. Buenos Aires  
e-mail: pnbaldi@frbb.utn.edu.ar, {christian\_galasso81@yahoo.com.ar,  
marcus.chaparro@gmail.com, matiasasb@gmail.com}  
web: <http://www.frbb.utn.edu.ar/electronica/grupoinvestigacion/gebi.html>

**Palabras clave:** Mapa electromagnético, Densidad de Potencia, GIS, Radiofrecuencias, Contaminación Electromagnética.

**Resumen.** *En este trabajo se presenta una herramienta computacional desarrollada en el ámbito del Grupo de Estudio de Bioingeniería de la FRBB, como parte de un proyecto para la determinación mediante simulación, de mapas sectorizados de densidad de potencia electromagnética de ciudades de la región. El objetivo final es determinar si los niveles de radiación a los que está sometida la población se encuentran dentro de los límites de seguridad recomendados por organismos internacionales. En particular, se centra la atención en la banda de las radiofrecuencias, propias de las comunicaciones inalámbricas. El programa implementa el algoritmo de cálculo en base a un modelo analítico simplificado de propagación en ambientes urbanos. Con los parámetros relevados de las antenas existentes en un sector de interés y sus correspondientes diagramas de radiación, se genera una base de datos y se evalúa la densidad de potencia media sobre un plano horizontal ubicado a una altura predeterminada sobre el nivel del suelo. El efecto de la edificación circundante se incorpora mediante parámetros características promedio, permitiendo lograr un equilibrio entre eficiencia y precisión. Los resultados son presentados en forma gráfica sobre fotografías satelitales georreferenciadas obtenidas mediante el programa de uso libre Quantum GIS (QGIS).*

### 1. INTRODUCCIÓN

El análisis de las radiaciones electromagnéticas asociadas a los sistemas de comunicaciones inalámbricas y su relación con la salud humana son parte de la temática de trabajo del Grupo de Estudios de Bioingeniería (GEBI). Este grupo participa en la Comisión de Radiaciones Electromagnéticas (Comisión REM), del Honorable Consejo Deliberante de Bahía Blanca, la cual está abocada al estudio del impacto ambiental de las ondas electromagnéticas debido a la proliferación de antenas de radiodifusión y telefonía celular en áreas urbanas, con vistas a una posible reubicación de las mismas. También ha participado en la redacción de un proyecto de ordenanza regulatoria de la instalación de antenas dentro del ejido municipal.

Si bien son numerosas las investigaciones llevadas a cabo hasta la actualidad sobre los efectos a largo plazo de una exposición continua a radiaciones de estaciones base y otras redes locales inalámbricas, las pruebas científicas disponibles no han proporcionado resultados concluyentes [1-3]. Esto se debe a la complejidad de las interacciones involucradas y a que las relaciones dosis-respuesta resultan altamente no lineales.

Frente a este panorama, la Organización Mundial de la Salud (WHO) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasificaron recientemente a las radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia como posiblemente carcinógenas (Grupo 2B) [4,5].

En relación a esta problemática, ya que las mediciones directas representan costos muy elevados además de insumir mucho tiempo cuando se trata de regiones de grandes dimensiones, la alternativa inmediata resulta la predicción basada en modelos.

Con el objeto de disponer de una herramienta de software para la predicción de los niveles de radiación no ionizante por sectores geográficos de ciudades de la región, se inició la investigación de los modelos existentes. En una primera etapa, se seleccionó un modelo simplificado para el cálculo de la densidad de potencia media radiada, en base a parámetros proporcionados por los fabricantes de antena. Se trabajó considerando ambientes abiertos bajo la condición de campo lejano, sobre un plano horizontal situado a una altura fija sobre el nivel del suelo [6,7]. Este tipo de modelos proporciona una primera estimación con tiempos de cómputo aceptables, que permite evaluar la necesidad de un análisis detallado en sectores acotados específicos.

En esta segunda etapa, se incorporó al modelo el efecto de la edificación circundante, teniendo en cuenta las características propias de la zona. Se partió de modelos determinísticos basados en la teoría electromagnética orientados a la planificación de los sistemas de comunicación inalámbricos y se incluyeron las modificaciones necesarias para la detección de niveles de irradiación riesgosos para la población en lugar de hacer hincapié en las pérdidas de propagación para garantizar cobertura. El programa de uso libre Quantum GIS [8] permitió la incorporación de un sistema de información geográfica para georreferenciar los resultados obtenidos. Los valores calculados se presentan gráficamente en un diagrama superpuestos a las fotografías satelitales del sector seleccionado.

Se trabajó con la participación de alumnos en calidad de becarios como un medio de difundir las tareas del grupo y fomentar su interés por la investigación. A partir del tercer año de la carrera de Ingeniería Electrónica los alumnos disponen de los conocimientos básicos necesarios tanto sobre propagación electromagnética como de programación, para integrarse sin dificultades al proyecto.

## **2. PROPAGACIÓN ELECTROMAGNÉTICA**

### **2.1. Características Generales**

Una característica importante de la propagación de señales de radiofrecuencias es su carácter multicamino. Los frentes de ondas siguen normalmente diferentes trayectorias en relación con los obstáculos que presente el entorno, originando interferencias que pueden reforzar o desvanecer la señal en el punto de recepción considerado, de acuerdo al defasaje producido en cada una. De este modo pueden existir: un camino directo cuando la propagación se da a lo largo de la línea recta que une al transmisor con el punto de recepción; caminos reflejados cuando las ondas llegan al receptor luego de haber incidido sobre la fachada de edificios o

sobre tierra; caminos difractados, asociados con la propiedad de las ondas de viajar rodeando obstáculos, y caminos de dispersión que aparecen si las ondas inciden sobre superficies electromagnéticamente rugosas, como puede ser la vegetación o la tierra (Figura 1).

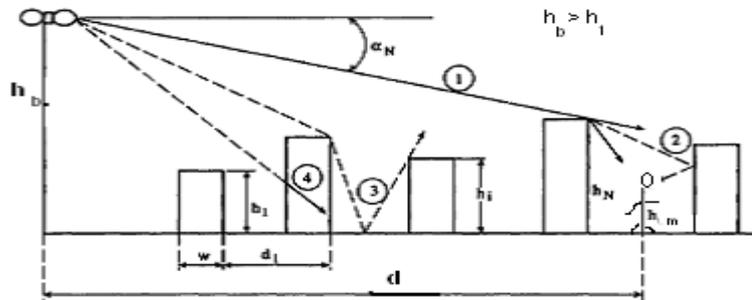


Figura 1: Diferentes caminos de propagación en presencia de obstáculos [15]

El espacio de propagación se divide en una familia de elipsoides conocidos como zonas de Fresnel, que rodean la trayectoria directa entre el transmisor y el receptor y poseen sus focos sobre ellos (figura 2). El primer elipsoide, de menor radio, delimita la región del espacio que contiene la mayor cantidad de la potencia transmitida. Se asume que la propagación se produce por un camino directo o en línea de vista (LOS) cuando no existen obstáculos dentro del primer elipsoide de Fresnel. En ambientes urbanos o suburbanos, con alto nivel de edificación, los procesos determinantes resultan la dispersión básica de la propagación en el espacio libre y la difracción que permite que frentes de onda sean desviados en los techos o frentes de los edificios y lleguen a las zonas de sombra definidas por los mismos [9,10].

## 2.2 Análisis del Modelo Adoptado

Los modelos de propagación pueden ser desarrollados en base a tres tipos de métodos con diferentes características. Los modelos estocásticos, sencillos pero de poca exactitud; los determinísticos o analíticos, basados en la teoría electromagnética, de gran precisión pero alta complejidad y por lo tanto ineficientes desde el punto de vista computacional, y los empíricos basados en mediciones que carecen de generalidad porque resultan altamente dependientes de las características de la zona donde se realizan y de la frecuencia específica de la transmisión.

En este trabajo se parte de un modelo analítico simplificado que tiene en cuenta los principales fenómenos físicos que caracterizan la propagación en ambientes urbanos, compensando performance y complejidad [7]. Se incluyen los efectos de la dispersión de potencia propios de la propagación en el espacio libre, la difracción y reflexión hacia la calle en los edificios inmediatos al punto de evaluación y la difracción múltiple debida a la interacción del frente de ondas con los edificios previos interpuestos entre ese punto y la antena emisora [7-10]. A diferencia del enfoque utilizado para diseño orientado al cálculo de pérdidas de propagación [11-17], se hace énfasis en la posible intensificación de la potencia en el punto de recepción.

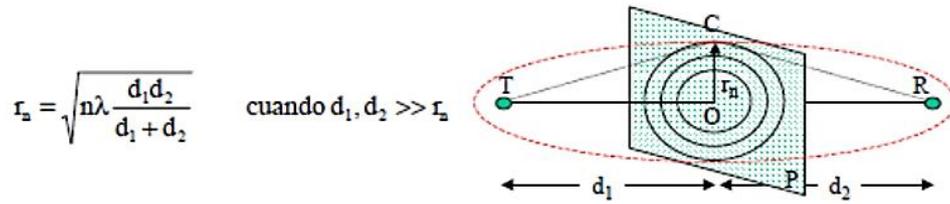


Figura 2. Zonas de Fresnel: definición de los elipsoides

Teniendo en cuenta las características de la zona se consideró el caso de terreno plano, con filas regularmente distribuidas de edificios de características uniformes, con un trazado reticular de calles y antenas ubicadas en torres por encima del nivel de la edificación circundante. Al nivel de la calle, una persona ubicada entre edificios difícilmente tenga visibilidad directa del transmisor. La difracción causada por los bordes de las construcciones circundantes será la responsable de que las radiaciones lleguen hasta ella.

La figura 3 muestra la geometría del problema con los parámetros fundamentales a ser relevados y los trayectos típicos para el caso de propagación sin LOS. Las características del ambiente son tenidas en cuenta mediante los valores promedio de la altura de edificios,  $H_B$ , la distancia entre líneas de edificación,  $w_B$ , y el ancho de las calles.

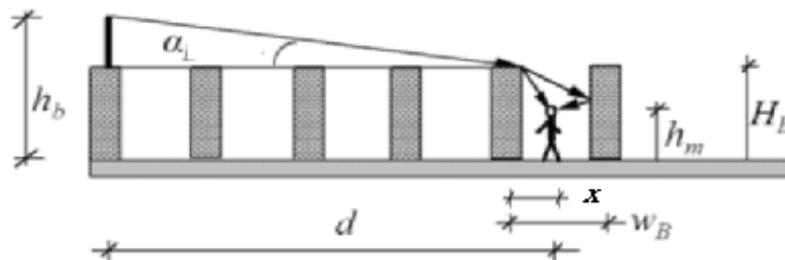


Figura 3: trayectos de propagación y parámetros geométricos

Para obtener la densidad de potencia en el punto de evaluación, se parte de la potencia emitida por el transmisor modificada de modo de incluir el efecto de la propagación por el espacio libre. Esta produce la atenuación de la señal debida a la dispersión esférica del frente de ondas generado por una fuente, aproximada a la distancia como puntual, según la expresión (1).

$$S_{el}(d, \phi, \theta) = P_{0dB} + G_{az}(\phi) + G_{in}(\theta) + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi(d^2 + (h_b - H_B)^2)} \right) \quad [dB_m] \quad (1)$$

donde:  $S_{el}$  es la densidad de potencia a nivel de los techos, expresada en decibeles;  $P_{0dB}$  es la potencia del radiador isotrópico incluidas las pérdidas en el Duplexer y el cable;  $G_{az}$  y  $G_{in}$  son las ganancias azimutal e inclinacional asociadas a las coordenadas angulares de un sistema de referencia centrado en el transmisor y  $d$  es la distancia a la fuente.

Los efectos del entorno, cuando no existe línea de vista, se incorporan al modelo mediante dos términos adicionales que se definirán a continuación.

Con este objetivo, se considera que la propagación entre los edificios de la línea adyacente al

punto de recepción no resulta significativa ya que estos pasajes rara vez se hallan alineados con el transmisor. El principal aporte de energía está representado por las trayectorias que alcanzan el nivel de la calle por difracción en los techos del entorno. Esto incluye el trayecto sobre los techos de las sucesivas filas previas de edificios entre el transmisor y la zona de evaluación, así como el directo de la última fila. Estos fenómenos son modelados usando aproximaciones de óptica física.

Si se asume que la fila de edificios contigua al punto de evaluación actúa como una media pantalla absorbente ubicada en medio de la fila, la potencia en una posición de la calle medida desde la línea de edificación,  $x = (d - N w_B)$ , a una altura  $h_m$  del piso, se aproxima mediante la teoría de difracción geométrica [10]. Esto conduce a sumar al valor hallado mediante la expresión (1) en la misma posición pero a la altura de los techos ( $H_B$ ), el siguiente término:

$$S_{ds}(d) = 10 \log \left( \frac{\lambda}{2\pi^2 \left( x^2 + (H_B - h_m)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \left( \frac{1}{\phi} - \frac{1}{2\pi + \phi} \right)^2 \right) [dB] \quad (2)$$

$$\phi = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{H_B - h_m}{x} \right)$$

Para analizar el efecto de las construcciones previas, las filas de edificios son consideradas como pantallas opacas absorbentes de ancho despreciable, separadas entre sí una distancia grande en relación a la longitud de onda nominal  $\lambda$  [11,12], como se muestra en la Figura 4.

Si  $h_b \gg h_m$ , el término que tiene en cuenta este efecto se aproxima mediante la siguiente expresión, referida a los parámetros de la Figura 3,

$$S_{dm}(d) = 20 \log \left( \max \left( 2.35 \left( \frac{(h_b - H_B)}{d} \sqrt{\frac{w_B}{\lambda}} \right)^{0.9}, \frac{w_B}{d} \right) \right) [dB] \quad (3)$$

Este modelo de difracciones múltiples resulta el más adecuado para antenas ubicadas por encima o a nivel de los techos, incluyendo las zonas cercanas a las intersecciones de las calles. Finalmente, la densidad de potencia a la altura  $h_m$  y la distancia  $d$  de la antena resulta:

$$S_m(d, \phi, \theta) = \log^{-1} \left\{ 10^{-1} (S_{el}(d, \phi, \theta)_{dBm} + S_{ds}(d) + S_{dm}(d)) \right\} \left[ \frac{mW}{cm^2} \right] \quad (4)$$

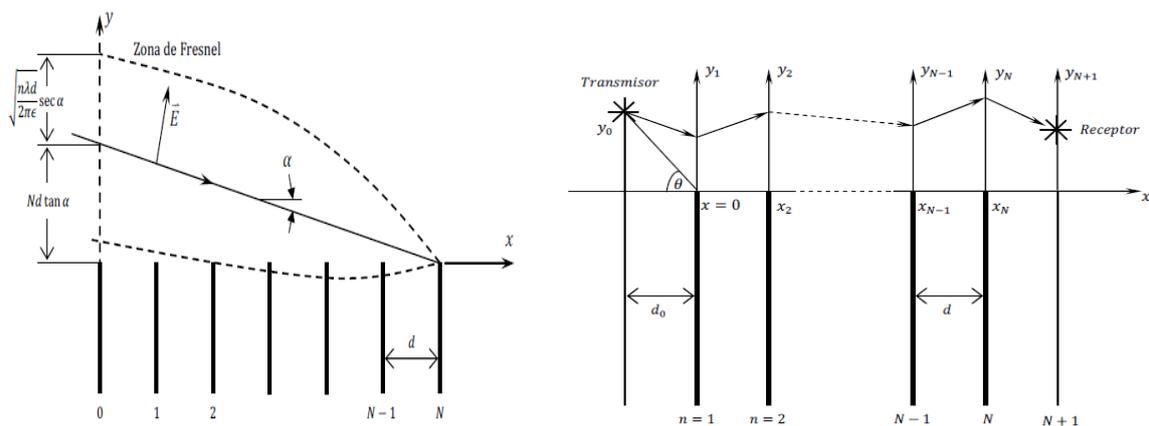


Figura 4: Geometría del modelo de difracción múltiple por una serie de pantallas absorbentes

### 3. DESARROLLO DEL PROGRAMA

#### 3.1. Características Generales

En el camino de generar un software bajo licencia pública, (GNU) para la determinación de mapas electromagnéticos en ambientes urbanos, se implementó el algoritmo de cálculo, programado en lenguaje “ANSI C”. Para la presentación gráfica de los resultados se recurrió a la interfaz de usuario de las bibliotecas multiplataforma QT (Figura 5).

Se tomó como base el modelo de densidad de potencia en ambientes abiertos con las modificaciones que incluyen el efecto de la edificación según la expresión (4), considerando conocidos los diagramas de radiación de los diferentes tipos de antenas. Con este fin se genera un archivo con parámetros tales como la altura de la torre, localización y orientación de la antena, potencia emitida, ganancia máxima y el diagrama de ganancias azimutal e inclinacional. El ingreso de datos es facilitado por una interfase desarrollada para adaptar el formato de los archivos de texto con la información proporcionada por los fabricantes, a la base de datos requerida para los cálculos.

Los parámetros necesarios para caracterizar el entorno son los valores promedio de la altura de la edificación, el ancho de las calles y la separación entre bloques de edificios, que pueden variar dependiendo de la región analizada.

En los puntos donde coexisten radiaciones generadas por diferentes fuentes, los efectos se consideran aditivos debido a la imposibilidad de determinar la relación de fase. Esto proporciona la situación de peor caso enfocada en la detección de zonas de riesgo potencial para la salud bajo el principio precautorio [18].

#### 3.2 Implementación del Modelo

El algoritmo genera un barrido angular de la zona especificada, que incluye el emplazamiento de una o más antenas y calcula punto a punto la densidad de potencia tomando la información del archivo de datos cargado previamente. La dimensión máxima de la matriz de almacenamiento y la extensión del sector geográfico elegido por el usuario determinan la definición del mapa calculado. Para incrementar la precisión es necesario reducir la región seleccionada.

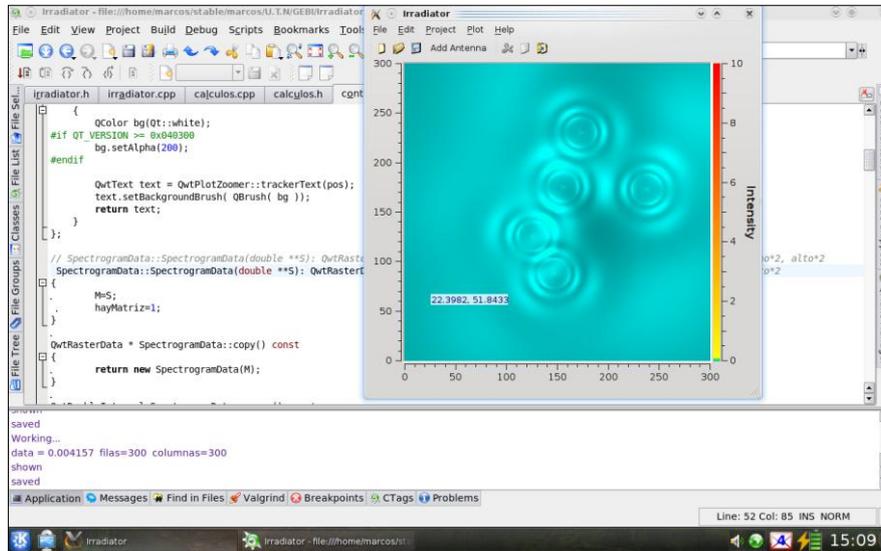


Figura 5. Vista de la interfaz gráfica del programa

La información disponible está basada en coordenadas esféricas de sistemas de referencia relativos centrados en cada emisor. En consecuencia, resulta necesaria su representación en un sistema unificado, acorde al sector elegido. Se implementó con ese fin una rutina que divide la región en cuadrantes y modifica los datos originales de modo que queden expresados en las nuevas coordenadas rectangulares (Figura 6).

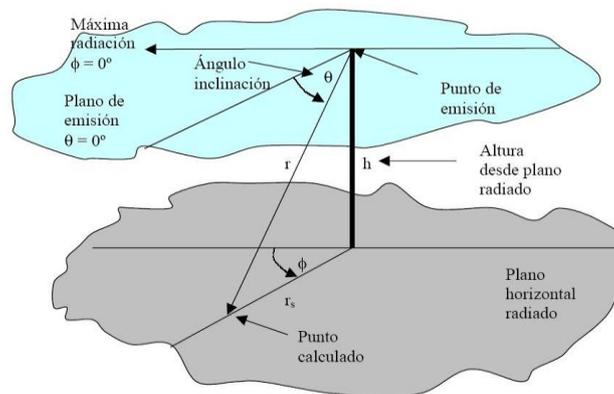


Figura 6. Relación de coordenadas usada en el modelo

El programa calcula una matriz que representa la densidad de potencia en el área previamente definida y presenta los resultados gráficamente. Se asocia una matriz a cada radiador que se incluya. Aplicando el criterio de la peor condición, se determinan los niveles del conjunto. Los resultados se muestran en las Figuras 7 y 9. Puede apreciarse que los ejes de la Figura 6 no están centrados en el punto (0,0), dado en coordenadas métricas. Esto responde a la necesidad de facilitar el georreferenciamiento de la imagen.

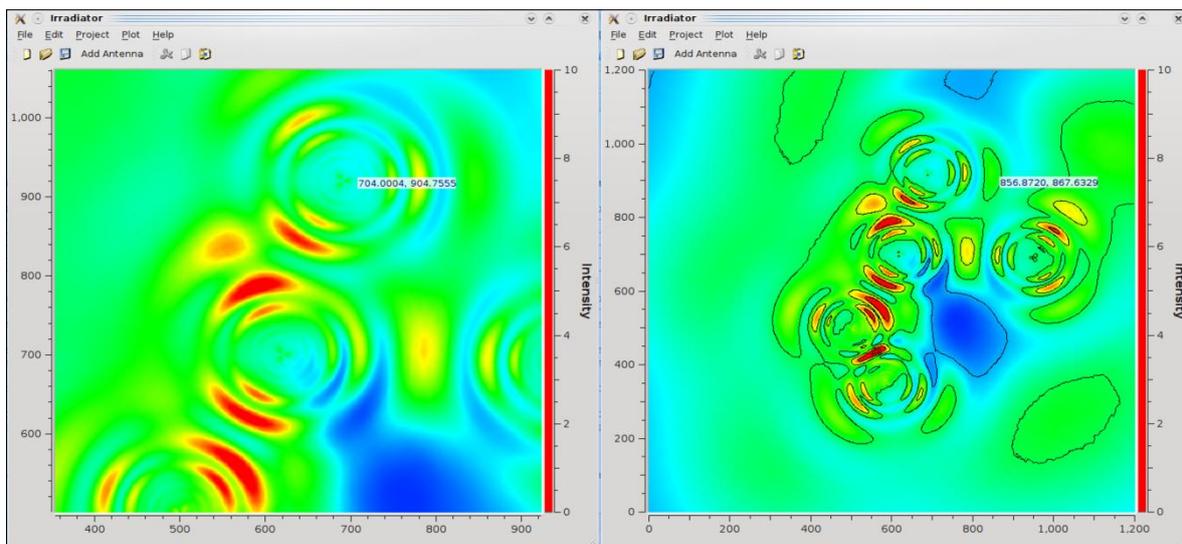


Figura 7. Distribución de densidad de potencia para 15 radiadores, distribuidos en 5 torres.



Figura 8. Plano catastral y Foto Satelital de la ciudad de Punta Alta (coordenadas: 38°52'49" S ; 62°04'30" O).

Programas como Google Earth y los sistemas de información geográfica (GIS, de sus siglas en inglés), junto con el uso de dispositivos GPS que permiten localizaciones con un error de entre 5 y 2 metros, proporcionan una ubicación precisa de los planos a la hora de realizar la contrastación de la predicción del modelo con datos de validación (Figuras 8 y 9).

En colaboración con el Departamento de Ingeniería Civil de la FRBB de la UTN, se incorporó el uso de imágenes georreferenciadas, las cuales incluyen ejes de referencia expresados en coordenadas geodésicas (latitud – longitud en grados) o en el sistema coordinado Universal Transversal de Mercator (UTM en metros). Se seleccionó con este fin el sistema de código libre, “QGIS” [8], debido a sus características de fácil uso y de permitir formatos raster y vectoriales así como el manejo de base de datos.



Figura 9. Mapa de radiación sobre la foto satelital de Punta Alta.

#### 4. CONCLUSIONES

Este trabajo da continuidad a una línea de investigación orientada al estudio de contaminación electromagnética, reubicación o rediseño de emisores para su mitigación, obtención de datos para el análisis de posibles efectos sobre la salud humana y revisión de la normativa asociada. El programa desarrollado mostró, en principio, buenos resultados, validados con datos experimentales de antenas localizadas en áreas urbanas de Punta Alta, ciudad ubicada al sudoeste de la provincia de Buenos Aires. La incorporación del sistema de georreferenciación mediante el uso de QGIS permite la inmediata identificación de las zonas de mayores niveles de irradiación con una precisión del orden de los dos metros. La relación entre exactitud y tiempo computacional resultó aceptable. De todos modos, la limitación de no contar con equipos de medición propios por los altos costos asociados y la falta de colaboración de las autoridades para proporcionar datos fehacientes de las antenas instaladas no permitió contar con resultados definitivos. La modalidad de trabajo por etapas con la colaboración de estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica incluidos en el proyecto mediante becas internas de corta duración, permite la difusión de las tareas realizadas por el GEBI con su iniciación en investigación. Por otra parte, genera en ellos el concepto cooperativo del desarrollo de software libre. También se logra crear conciencia acerca de la responsabilidad social de los futuros profesionales al trabajar sobre el tema de la posible contaminación electromagnética inherente a las comunicaciones inalámbricas. En una etapa siguiente se prevé incorporar al programa una mayor complejidad de modelo para lograr resultados mas ajustados en el caso de áreas urbanas con distribuciones no uniformes de edificios y calles, incorporando el perfil real de la edificación existente. Se considera también la posibilidad de la realización de estudios de correlación con mapas de distribución geográfica de patologías que típicamente se asocian a la REM no- ionizante.

**REFERENCIAS**

- [1] Mobile Telecommunications and Health Research Programme. UK .Report 2007.
- [2] R Baan, Y Grosse, B Lauby-Secretan, *et al.*, “Carcinogenicity of Radiofrequency Electromagnetic Fields”, *The Lancet Oncology WHO IARC Monograph*. Vol. 12, Issue: 7. pp 624-626, [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf) , (2011).
- [3] Anthony J. Swerdlow, Maria Feychting, Adele C. Green, Leeka Kheifets y David A. Savitz. “Mobile Phones, Brain Tumours and the Interphone Study: Where Are We Now?”, *Environmental Health Perspectives- NIEHS* -, (2011).
- [4] ICNIRP . Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)- Review *Scien. Evidence Health Cons.* Munich, (2009).
- [5] Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles Nota descriptiva N°193 OMS . <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/index.html>, (2011).
- [6] Néstor H. Mata, Patricia N. Baldini, Christian L. Galasso. “Estudio de la Contaminación por Radiaciones Electromagnéticas No Ionizantes”. 2da. PROIMCA. FRSN. UTN. (2008)
- [7] Néstor H. Mata, Patricia N. Baldini, Christian Galasso, Marcos Chaparro y Matías Silva Bustos “Herramienta Computacional para la Determinación de Mapas Electromagnéticos de Radiofrecuencias”. 1ra. EMNUS. FRH. UTN . (2010).
- [8] Quantum GIS : [www.qgis.org](http://www.qgis.org)
- [9] Nicholas J. Thomas, *et al.* “The Relative Importance of Different Propagation Mechanisms for Radio Coverage and Interference Prediction in Urban Scenarios at 2.4, 5.8, and 28 GHz” *IEEE Trans Antennas and Prop*, Vol.54, No.12, pp.3918-3920, (2006).
- [10] Howard H. Xia, L. Bertoni. “Diffraction of Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens” *IEEE Trans. Antennas Propag.* Vol. 40, no.2, pp.170-177 (1992).
- [11] Howard H. Xia. “A Simplified Analytical Model for Predicting Path Loss in Urban and Suburban Environments”. *IEEE Trans on Vehic Tech.* Vol. 46, no.4, pp. 1040-1046 (1997).
- [12] L. R. Maciel, L. Bertoni, H. H. Xia. “Unified Approach to Prediction of Propagation over Buildings for All Ranges of Base Station Antenna Height”. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 42, no. 1, pp.41-45, (1993).
- [13] Howard H. Xia, L. Bertoni, L. R. Maciel, A. Lindsay, R. Rowe. “Microcellular Propagation Characteristics of Personal Communications in Urban and Suburban Environments”. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 743-753, (1994).
- [14] Tapan K. Sarkar, Zhong Ji, Kyungjung Kim, Abdellatif Medouri, and Magdalena Salazar-Palma. “A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. Vol. 45, No. 3, pp. 51-82, (2003).
- [15] Hervé Sizum. Radio Wave Propagation for Telecommunication Propagation. Ed. Springer Berlín, (2005).
- [16] Recomendación UIT-R P.526-11 - *Propagación por difracción*, (2009).
- [17] V.S. Abhayawardhana, *et al.* “Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Fixed Wireless Access Systems”, *IEEE 61st Vehicular Tech Conf*, pp.73-77, (2005).
- [18] Ley Nacional 25.675 – Sancionada y Promulgada: Noviembre de 2002.

# **LAS MEDICIONES DE RNI A GRAN ESCALA. DESARROLLO, RESULTADOS Y CONCLUSIONES OBTENIDAS EN UNA CAMPAÑA DE MEDICIONES EN LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES**

**Aguirre<sup>1\*</sup>, Aníbal Roberto; Dalmas di Giovanni<sup>1</sup>, Norberto y Rubial<sup>2</sup>, Lucila**

1: División Antenas y Propagación  
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa  
San Juan Bautista de Lasalle 4397 Villa Martelli. Buenos Aires, Argentina  
e-mail: aaguirre@citedef.gob.ar, ndigiovanni@citedef.gob.ar

2: División Desarrollos Especiales  
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa  
San Juan Bautista de Lasalle 4397 Villa Martelli. Buenos Aires, Argentina  
e-mail: lrubial@citedef.gob.ar, web: www.citedef.gob.ar

**Palabras clave:** Radiaciones no Ionizantes, RNI

**Resumen.** *Entre 2005 y 2006, en cumplimiento de la Res. 244/2001 del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, las empresas de telefonía celular realizaron las mediciones de RNI de aproximadamente 700 emplazamientos, volcando los valores obtenidos en un mapa accesible vía Web al público en general, mostrando una “foto” del estado de los niveles de radiación. Pero al incluir puntos medidos en el entorno cercano al emplazamiento, que, en la mayoría de los casos no son lugares de acceso público, el estudio estadístico realizado en esa oportunidad arrojó valores de dispersión pronunciados. Ante la necesidad de la autoridad Ambiental de renovar el relevamiento de emisiones, CITEDEF realizó un análisis estadístico de los valores obtenidos en la primera campaña. En base a ellos se realizó una propuesta de medición para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, realizada con un sistema de medición integrado a un vehículo, lo que permitió realizar un mapeo más racional y obtener así datos concretos del estado de contaminación por RNI que existe en la ciudad, a nivel peatonal, que es donde existe mayor cantidad de personas expuestas a una posible contaminación, además de haber podido incrementar las mediciones a más de 10 000.*

## **1. INTRODUCCIÓN**

Desde el comienzo de las instalaciones de telefonía móvil celular en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la población evidenció la preocupación sobre la posible influencia de las nuevas instalaciones sobre su salud.

Fue así como, desde el año 2000, el área de Medio Ambiente de la ciudad, comenzó a trabajar sobre el particular, generando la primera de las resoluciones que permitirían establecer por medición el valor del campo existente en los alrededores de cualquier instalación de comunicaciones, emplazada dentro de los límites.

Entre los meses de setiembre de 2005 y marzo del 2006, entre el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA) y el Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA), se realizó una campaña masiva de mediciones donde se establecieron los valores de campo alrededor de casi 700 emplazamientos de telefonía móvil celular. Cabe acotar que la campaña se limitó a ese tipo de instalaciones porque fue solicitada por la Cámara que agrupa a los prestadores de esos servicios.

Los resultados de esas mediciones se publicaron en el mapa del gobierno de la Ciudad, disponible en la web ([www.buenosaires.gov.ar](http://www.buenosaires.gov.ar)) pero, sólo figuran aquellos lugares que fueron efectivamente relevados. El resultado evidente es que hay zonas con mayor cantidad de mediciones (aquellas que tienen mayor cantidad de antenas) que otras.

De la mencionada campaña, pudieron extraerse las siguientes conclusiones:

- Se observa que el 99,5% de los valores medidos está por debajo de los límites que el ICNIRP indica para 800 MHz ( $400\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) y entornos poblacionales.
- La incompreensión de la población respecto de la aplicación de los límites de exposición.
- La existencia de “puntos calientes” pero todos ellos situados en lugares vedados al acceso público.
- La interpretación pública respecto de la existencia de riesgos a partir del interés del gobierno por medir.

Cuando en el año 2008, la Secretaría de Política Ambiental de la C.A.B.A. decide rehacer la campaña, se le propuso un cambio en la política de acción, a saber:

- Realizar un análisis estadístico más completo de los datos de las mediciones realizadas en 2005/2006
- En base a ese análisis, seleccionar aquellos puntos de la ciudad donde sea representativo medir, dejando de lado la medición “por emplazamiento”.
- Analizar, luego de realizada la campaña, la posible ubicación de monitores de radiación fijos.

## 2. LAS MEDICIONES DE GRAN ESCALA

Los resultados del análisis estadístico realizado, trajo como conclusiones importantes, que los datos deben ser presentados en función de unidades geográficas que sean representativas para la población, como por ejemplo los barrios. Otra conclusión es que para ponderar el estado de contaminación de la ciudad, que le interesa al vecino, las mediciones deben realizarse a nivel de la calle.

Además debió considerarse la necesidad de realizar una cantidad suficiente de mediciones que permita ponderar dispersiones por los típicos problemas de propagación.

Analizados estos elementos, se decidió definir la unidad “ZONA”, determinada por un sector de cuatro cuadras por cuatro cuadras, donde se mediría en cada esquina dentro de la “ZONA” y en cada centro de cuadra. De esta forma, cada “ZONA” quedaría caracterizada (en promedio) por un total de 65 puntos medidos (ver Figura 1). Las zonas anteriormente descriptas fueron distribuidas por todos los barrios de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, totalizando la cantidad de 180, que a 65 puntos de promedio por zona, resulta en una cantidad aproximada de puntos medidos de 11700.

Para poder concretar este tipo de mediciones, se desarrolló un sistema automático para ser montado sobre un vehículo y realizar así la campaña completa.



Figura 1: esquema de una zona de medición con sus puntos medidos

### 3. DISPOSITIVO DE MEDICIÓN

Como fue mencionado en la introducción, la necesidad de tener una importante densidad de datos a los fines de realizar procesamiento estadístico, y la implementación de una técnica de medición a una altura promedio (aproximadamente 1,6m) sobre el nivel del piso (puesto que en la medición en terrazas o en predios que alojen plantas transmisoras de Emisoras de AM, FM o TV pueden registrarse valores de campos singulares, probablemente mas elevados que lo normal, pero que de ninguna manera representan el valor de campo electromagnético al que esta expuesto el público en general), lo que obligo al desarrollo e integración a nivel local de un dispositivo que pueda dar respuesta a éstos requerimientos.

El sistema de medición que satisfaga las necesidades planteadas debía estar compuesto por tres sub-sistemas, a saber: un sensor de campos electromagnéticos, un sistema de posicionamiento GPS, un procesador de datos programado para recibir y promediar los datos obtenidos para luego mostrar el valor resultante sobre la cartografía del lugar.

#### 3.1 Sobre el sensor de campo eléctrico

La amplia experiencia en mediciones de radiaciones no ionizantes, y en sus sistemas manuales de medición, permitió a los especialistas de CITEFA, realizar los análisis necesarios a fin de determinar las ventajas y falencias de cada tipo de sensor y permitir así, la elección del sensor correcto a integrar en el sistema de medición, teniendo en cuenta de manera fundamental dos requerimientos: su inmunidad electromagnética a fenómenos no deseados y la capacidad de supervivencia, debido a la magnitud de la campaña de mediciones para la cual sería empleado. Inicialmente se estudiaron los sensores convencionales que vienen montados en los medidores de mano (ver Figura 2). Puede resultar un camino sencillo y tentador, extraer los datos de un medidor de mano, vincularlos geográficamente a través de un sistema GPS para luego representarlos en la cartografía del lugar.

Ciertamente este tipo de sistema, puede asistir en el desarrollo del concepto, pero de ninguna manera cumple con las dos exigencias planteadas. Va de suyo, que un equipo preparado para la portabilidad de un operador poco tiene que ver con un sistema autónomo con la robustez necesaria contra la intemperie, vibraciones, etc. Aún así la limitación principal de estos

sensores es tecnológica, puesto que el transporte de la información desde el sensor hacia el visualizador se realiza a través de líneas paralelas de muy alta impedancia que se encuentran alojadas dentro de un tubo circular rígido que les brinda la robustez mecánica necesaria. El problema central del mencionado vínculo de transporte reside fundamentalmente en la baja inmunidad que poseen estas líneas de alta impedancia frente a campos eléctricos externos, fundamentalmente de frecuencias Medias y Bajas, los cuales distribuidos geométricamente de manera no ordenada son capaces de alterar las señales transportadas por las mencionadas líneas y su consecuente falsa lectura posterior.

Si bien excede los alcances del presente artículo, no puede dejarse de mencionarse que los sensores de campo eléctrico y magnético asociados a los equipos de inspección portátiles poseen algunas limitaciones importantes, más allá de la ya citada, que terminan falseando los resultados medidos. Aplicar estos sensores en entornos de campos electromagnéticos complejos merece de una atención, cuidado y conocimiento de ingeniería de medición para evitar mal-interpretar los resultados.



Figura 2: sensor de campo con visualizador portátil.

Ante el mencionado problema, se adoptó como solución, la utilización de un sensor de procedencia Estadounidense donde la salida de señal del sensor se efectúa por fibra óptica (Figura 3), descartando así la problemática de las interferencias electromagnéticas sobre las mencionadas señales.



Figura 3: sensor de campo con salida óptica.

El sensor elegido fue montado dentro de un alojamiento dieléctrico de protección contra la intemperie (“*radome*”), donde se incorporó una interfase óptica-eléctrica 232 y para este caso puntual un sistema magnético de sujeción, debido a que el sistema sería montado en un móvil que le permita recorrer cada una de las 180 zonas de 4x4 manzanas distribuidas estadísticamente en todos los barrios de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

A modo de anécdota debe mencionarse que el vehículo elegido para el montaje del sistema fue un vehículo TAXI (Figura 4) debido a la necesidad de medir en zonas de alto tránsito con detenciones (de 10 segundos a un minuto) cada 50 metros, circunstancias a veces complejas en las áreas más transitadas de la ciudad.



Figura 4: montaje del sistema de medición.

### 3.2 Sobre el programa de procesamiento y presentación de los datos.

Con la finalidad de poder procesar y presentar convenientemente los valores obtenidos, se desarrolló un programa que permitiera asociar a cada valor medido su posición GPS, para que el valor resultante de la medición pueda presentarse sobre la cartografía del lugar bajo estudio, identificando el punto con un color de fácil asociación a la magnitud del valor medido (ver Figura 5). A la vez el resultado del valor medido y sus coordenadas son almacenadas en una tabla de valores, que también posee una columna de referencia del domicilio “postal” de la medición y cuyos resultados pueden ser transmitidos por la red de telefonía móvil en tiempo “real” al centro de gestión de datos que se considere pertinente.

El presente programa obtiene el valor final a representar mediante la realización del promedio simple de “n” muestras (programables), donde cada muestra es el valor eficaz de campo eléctrico resultante de la suma de los campos en los ejes, X, Y y Z colectados por el sensor elegido. Atendiendo a que la finalidad de la recolección de datos fue el posterior procesamiento estadístico, se eligió para cada punto medido una premedicación de al menos 30 muestras. El valor resultante es el que es presentado tanto en la pantalla, como almacenado en la tabla.

### 3.3 Sobre el análisis de los datos medidos.

Las mediciones de campo eléctrico se realizaron por zonas de cada uno de los barrios (180 zonas en Total). La cantidad de zonas fue seleccionada dependiendo de las características urbanas de cada uno de los barrios. Para el estudio estadístico, sin dejar de identificar cada una de las zonas, los datos se agruparon por barrio. Para cada barrio se realizó el siguiente estudio:

- Cálculo de parámetros estadísticos
- Histogramas
- Gráficos de cajas (Box Plot)
- Percentiles



Figura 5: presentación en pantalla, aquí alrededores del Hipódromo Argentino.

Los valores promedio obtenidos para cada barrio oscilan entre 0,82 V/m y 7,47 V/m y el valor más frecuente se encuentra entre 0,59 V/m y 0,76 V/m. Una de las formas de visualizar la dispersión de las medidas es el rango, que en este caso el mayor de ellos es de 6,97 V/m que corresponde al barrio de Saavedra. Otra forma es la dispersión estándar, pero la forma de visualizar esta tendencia es el Coeficiente de Variación de Pearson (CV), que representa el número de veces que la desviación standard contiene a la media.

### 3. CONCLUSIONES

Los valores de campo encontrados en esta oportunidad son muy bajos respecto del máximo permitido por la regulación. En esta campaña, vemos que el 60 % de los barrios presentan valores menores de 2 V/m y el máximo valor de campo medido es de 7,47 V/m en el barrio de Saavedra. Este valor representa el 27 % del valor máximo permitido por ley.

El CV de Pearson muestra una sustancial mejora respecto del mismo coeficiente calculado en el año 2006. Esto demuestra la acotada dispersión de valores, reflejado también en los valores de la desviación standard y los valores de rango.

Con la comparación de los barrios que presentaban valores de campo cercanos y mayores a 27,5 V/m en la campaña anterior (año 2006), se encuentra que la mayoría de ellos ahora presentan valores iguales o mayores a 2 V/m, a consecuencia de efectuar mediciones a 1,6m del piso y no en las cercanías estrictas de cada emplazamiento. Esto indicaría que este valor límite sería una señal de atención zonal y que un pequeño incremento en el mismo, estaría reflejando un incremento mayor en el entorno cercano de la/s fuente/s radiantes.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Portela, Skvarca y otros, *Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante*, Dirección Nacional de Calidad Ambiental, (1988).
- [2] Aguirre, Dalmas Di Giovanni y otro, *Radiación no Ionizante de sistemas de telefonía celular móvil: la percepción de la población, la disparidad de los estándares y el monitoreo de gran escala*, Congreso Panamericano del IRPA-Acapulco, (2006).
- [3] Resolución APRA 343/2008, *Aprobación del procedimiento de medición de radiaciones electromagnéticas*, Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires-Agencia de Protección Ambiental, (2008).
- [4] Perez Vega, Zamanillo, *Measurements of nonionizing radiation levels in an urban environment*, European Microwave Conference (2008).
- [5] ANSI/IEEE C95.1-2005 *Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*.
- [6] ANSI/IEEE C95.3-2002 *Recommended Practice for Measurements and Computations with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 100kHz to 300 GHz*.



## INSTALACIÓN DE UN RADIÓMETRO DE ONDAS MILIMÉTRICAS PARA MEDIR PERFILES DE OZONO EN RÍO GALLEGOS, ARGENTINA

Orte<sup>1</sup>, P. F.; Salvador<sup>2,3</sup>, J.; Wolfram<sup>2</sup>, E.; D'Elia<sup>2</sup>, R.; Nagahama<sup>4</sup>, T.; Kojima<sup>4</sup>, Y.; Tanada<sup>4</sup>, R.; Kuwahara<sup>4</sup>, T.; Morihira<sup>5</sup>, A.; Quel<sup>2</sup>, E. y Mizuno<sup>4</sup>, A.

1: Becario ANPCyT.

e-mail: porte@citedef.gob.ar

2: CEILAP (CITEDEF-CONICET) Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

3: Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina.

4: Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Nagoya, Japan.

5: ULVAC Inc., Chigasaki, Japan.

**Palabras claves:** radiómetro de ondas milimétricas, receptor superheterodino, perfil de ozono.

**Resumen.** *Con el objetivo de contribuir con los estudios de la capa de ozono atmosférica, un nuevo radiómetro de ondas milimétricas para monitoreo de ozono ha sido instalado en el observatorio Atmosférico de la Patagonia austral, división LIDAR, CEILAP (CITEDEF-CONICET) en octubre de 2010. Este observatorio fue establecido en la ciudad de Río Gallegos (51° 36' S, 69° 19' O), Argentina, cercano al agujero de ozono que se forma sobre la región antártica durante la primavera desde el la década del 80. El radiómetro de ondas milimétricas fue desarrollado en Solar Terrestrial Environment Laboratory (STEL) de la Universidad de Nagoya, Japón. Este instrumento de sensado remoto pasivo es capaz de medir el contenido de ozono en la alta estratósfera y mesósfera, el cual opera continua y automáticamente con una resolución temporal alta. Los perfiles de ozono obtenidos por este radiómetro serán complementados con los perfiles de ozono derivados desde el sistema DIAL (differential absorption LIDAR) existente en este observatorio. El radiómetro de ondas milimétricas está basado en la detección de la señal espectral desde la atmósfera debido a las transiciones rotacionales de la molécula en estudio. Para tal fin un sistema superheterodino utiliza un receptor mezclador superconductor-aislador-superconductor (SIS) operando a 203,6 GHz. El mezclador SIS es enfriado a 4,2 K con un refrigerador cíclico de helio. El objetivo de este trabajo es presentar el nuevo instrumento instalado en estas latitudes subpolares, sus principales características y sus potencialidades. Además se presentan los resultados preliminares de perfiles de ozono obtenidos.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Observaciones realizadas desde tierra han mostrado una disminución del ozono estratosférico sobre la región antártica durante la primavera desde los años 80 [1, 2, 3]. Desde esta década, el agujero de ozono ha sobrepasado latitudes subpolares debido a su elongación alcanzando,

en muchos casos, la Patagonia Argentina. Por esta razón, valores anormales de alto IUV han sido observados, lo que puede causar diferentes efectos en los distintos ecosistemas y el hombre [4, 5]. Pero la importancia de medir la cantidad de ozono no sólo deriva en su relación con la radiación UV que alcanza la superficie y sus efectos. Muchos estudios han demostrado la relación y la influencia que tiene el ozono estratosférico en el cambio climático global [6].

Para contribuir con los estudios del fenómeno del agujero de ozono, el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral establecido en Río Gallegos en el año 2005, instaló un sistema DIAL (Differential Absorption LIDAR) y ha estado midiendo la distribución vertical de ozono estratosférico desde aquel año [7, 8]. Además, este laboratorio tiene diferentes instrumentos para medir la radiación UV y el contenido de ozono como son el espectroradiómetro Brewer y un SAOZ. Estos instrumentos pertenecen al INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Brazil y al LATMOS (IPSL/CNRS), Francia respectivamente. El instrumento SAOZ y el sistema DIAL son parte de la red de mediciones del NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change).

El sistema DIAL mencionado es capaz de medir perfiles de ozono desde los 14 a los 40 km de altitud [9, 10]. Sin embargo, esto es insuficiente en altura y en frecuencia de observación para monitorear la disminución de ozono debido a la reacciones en fase gaseosa. Se ha observado que la disminución de ozono es más pronunciada en la baja estratósfera desde los 15 a los 20 km y en la alta estratósfera, cerca de los 40 km. Aunque la recuperación de la capa de ozono en la estratósfera baja depende en gran medida de diferentes factores como el cambio climático [11], en la estratósfera alta se espera una recuperación de acuerdo a la disminución de la carga de cloro. Por lo tanto, es importante el monitoreo de la capa de ozono en un rango de altitud ancho para proporcionar evidencia de la recuperación de la capa de ozono [12].

Para observar la distribución de ozono a altitudes medias y con una frecuencia adecuada, ha sido instalado un radiómetro de ondas milimétricas en Río Gallegos, en octubre de 2010. Este instrumento pasivo ha sido diseñado para medir perfiles de ozono en la estratósfera y la baja mesósfera entre los 25 y los 80 km. En regiones más altas de este rango, el ozono tiene un tiempo de vida medio del orden de horas. El radiómetro tiene una resolución temporal típica de 30 minutos, dependiendo de la exactitud que se requiera. Por lo tanto, esto permite medir la variación diurna-nocturna debido a la fotoquímica. El perfil de ozono obtenido desde este instrumento podría ser complementado con los perfiles medidos con el sistema DIAL existente, logrando obtener perfiles de ozono desde los 14 hasta los 80 km.

Nagahama et. al.(2003) ha estudiado dicha variación estacional de ozono en Tsukuba, Japón utilizando un instrumento similar logrando relacionar la variación de la densidad de ozono en la media y la alta estratósfera con la actividad solar.

Por otro lado, perturbaciones en la baja atmósfera pueden generar onda de gravedad que se propagan alcanzando la atmósfera media las cuales podrían ser estudiadas con este instrumento. Aunque las ondas de gravedad son en principio absorbidas en la mesósfera, su influencia se extiende hacia abajo en la estratósfera [13]. Esto se ha estudiado en detalle utilizando modelos numéricos los cuales incluyen la parametrización de ondas planetarias y ondas de gravedad [14]. Sus resultados demuestran que la propagación de las ondas de gravedad mesosféricas puede afectar significativamente la temperatura de la estratósfera en el polo de invierno hasta altitudes de 20 km. El efecto es más importante cuando la propagación de las ondas planetarias es relativamente débil, como en el hemisferio sur a mediados de invierno. Una consecuencia importante de este resultado es una inadecuada

parametrización en la propagación de las ondas de gravedad en los modelos numéricos resultando en un mayor enfriamiento y un vórtice polar modelado más intenso que el real (problema conocido como “cold pole” [15, 16]).

La cuantificación de los parámetros de las ondas de gravedad y el análisis de la variación temporal en la alta estratósfera y la baja mesósfera polar sigue siendo un desafío debido a las limitadas observaciones desde tierra y la limitada cobertura satelital [17].

De lo mencionado anteriormente deriva la importancia de obtener mediciones de tierra para contribuir con los estudio de la atmósfera media en latitudes críticas cercanas al vórtice polar antártico.

En la sección siguiente se presenta una descripción resumida del radiómetro de ondas milimétricas instalado. Luego se muestran los primeros resultados obtenidos con este instrumento.

## 2. INSTRUMENTO

El radiómetro de ondas milimétricas instalado utiliza líneas de emisión moleculares las cuales son generalmente debidas a transiciones rotacionales. Por lo tanto, se puede medir el espectro de emisión durante el día y la noche ya que no se requiere ninguna fuente de luz como en otras técnicas. Esta es una gran ventaja si comparamos con otros métodos, como las mediciones en el infrarrojo y/o visible. Mediciones continuas proveen información de la variación de la distribución vertical del ozono en la atmósfera media en varias escalas de tiempo. Después de la eliminación de tales variaciones de tiempo, podemos detectar la tendencia a largo plazo en cada altura. Además, la radiación en la región de las ondas milimétricas no es afectada por los aerosoles. Por lo tanto, el perfil vertical de ozono puede ser calculado exactamente mediante ecuaciones de transferencia radiativa para las longitudes de onda mencionadas.

Este radiómetro de ondas milimétricas se compone básicamente de una antena, un receptor heterodino para procesar la señal de la línea espectral emitida por el ozono a  $\sim 208.6\text{GHz}$ , y un espectrómetro. La figura 1 muestra un diagrama del sistema instalado en el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral. La emisión espectral de las moléculas atmosféricas atraviesa la ventana de espuma de estireno la cual genera una pérdida del 1%. El espejo plano rotante instalado antes del espejo parabólico intercambia la señal de entrada entre el cielo y las dos fuentes de calibración. La calibración de la escala de intensidad se realiza utilizando dos temperaturas de cuerpo negro, una fría y una caliente, como intensidades de referencia. La fuente de emisión caliente ( $\sim 300\text{ K}$ ) es un absorbente de ondas de radio a temperatura ambiente, y la fuente fría se logra a través de un absorbente por inmersión de un recipiente de espuma de estireno en nitrógeno líquido. Esto se realiza para calibrar el voltaje de entrada con la temperatura de brillo asociada. El espejo rotante, además, cambia el ángulo de elevación de la señal del cielo. El ángulo de elevación varía continuamente entre 10 grados, 50 grados y el fijado a 70 grados se utiliza como referencia.

El sistema cuasi óptico focaliza la señal dentro del receptor mezclador superconductor enfriado a 4 K junto al amplificador HEMT por un refrigerador de helio de ciclo cerrado 4 K J-T. Para esto, la señal entrante es focalizada al mezclador SIS por dos espejos curvos, uno parabólico y uno elipsoidal. Un modulador de longitud de paso (MLP) es utilizado para reducir las ondas estacionarias que ocurren debido a la reflexión entre las componentes

ópticas. El PML consiste de un par de espejos en “V” paralelos donde uno de los espejos se mueve periódicamente hacia delante y atrás con un periodo de 0,2 segundos.

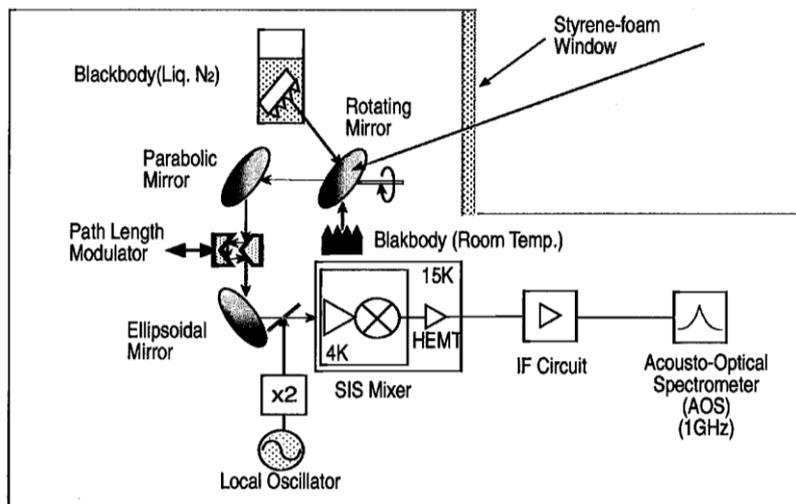


Figura 1. Diagrama en bloque del radiómetro de ondas milimétricas instalado en el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral [18].

El sistema heterodino está constituido por un oscilador local (LO) y un mezclador SIS. Un oscilador Gunn realimentado por PLL (phase-locking Loop Gunn oscillator) a 100 GHz-band y un doblador de frecuencia son utilizados para generar la señal del oscilador local de 200 GHz. La señal proveniente del oscilador local es introducida en el mezclador SIS a través de un divisor de haces que consiste en una lámina de teflón la cual está ubicada antes del mezclador a 45 grados.

El receptor mezclador SIS provee una temperatura de ruido baja cercano al límite cuántico, con lo cual podemos obtener el espectro de ozono con una alta relación señal-ruido y tiempos de observación muchos más cortos que los provistos por un diodo receptor mezclador Schottky. Este sistema es operado en modo de doble banda (DSB). El diseño de la junta y el bloque mezclador es básicamente el mismo que el mezclador SIS de 110 GHz desarrollado por la Universidad de Nagoya [19], pero para 200 GHz en el sistema presentado.

La señal IF de salida es amplificada por un HEMT (High Electron Mobility Transistor) amplifier. Los componentes subsiguientes como filtros, amplificadores y atenuadores se encuentran a temperatura ambiente y procesan la señal IF para ajustar el nivel y la frecuencia apropiada para el espectrómetro. Luego la señal es procesada por el espectrómetro FFT digital (DFS) Acquiris AC240. El DFS se basa en tecnología FPGA (Field Programmable Gate Array). Este espectrómetro tiene 16384 canales con un ancho de banda y una frecuencia de resolución de 1 GHz y 68 kHz respectivamente. Luego la señal es obtenida e integrada con una PC.

Para analizar los datos obtenidos por el radiómetro de ondas milimétricas, Nagahama et. al. (1999) [12] desarrollaron un algoritmo basado en la estimación óptima dado por Rodgers (1976) [20], el cual es comúnmente usado para el analizar señales de ondas milimétricas.

### 3. RESULTADOS PRELIMINARES

La figura 2 muestra un espectro preliminar de ozono de temperatura de brillo en función de la frecuencia entre 208,3 y 208,9 GHz para el 26 de marzo de 2011. El tiempo de integración del mismo es de 30 minutos entre las 19:30 y las 20:00 horas (UTC). Este tiempo de observación incluye los tiempos muertos empleados para la calibración de intensidad y medición del espesor óptico de aerosoles, entre otros. El espesor óptico de aerosoles ( $\tau$ ) promedio para este caso fue de 0,30. En la figura 3 se observan tres perfiles de ozono en altura. La línea gris corresponde a un perfil de ozono climatológico calculado por Fortuin & Kelder entre 20 y 60 km el cual fue obtenido haciendo un promedio zonal en latitudes cercanas a la ciudad de Río Gallegos para el mes de marzo [21]. La línea de puntos corresponde a un perfil de ozono obtenido por el instrumento Microwave Limb Sounder (MLS, a bordo del satélite Aura) desde los 20 a los 70 km aproximadamente, el cual fue medido para una latitud razonablemente similar a la de Río Gallegos (-51.74, -73.65) para el 26 de marzo de 2011 a las 05:57 (hora UTC) [22]. La línea llena negra corresponde a las mediciones preliminares obtenidas por el radiómetro de ondas milimétricas (MWR) entre 20 y 80 km de altura obtenido entre las 16:30 y 17 horas el cual fue derivado desde el espectro observado en la figura 2. Si se compara el perfil de ozono realizada por el radiómetro con la del MLS y la climatológica, los valores radiométricos en superficie son menores que los otros perfiles para todo el rango de altura. Por encima de los 30 km las mediciones en superficie presentan valores aceptables cercanos a las mediciones realizadas por el MLS y los perfiles climatológicos. Alrededor de los 35 km, donde se presentan los valores máximos de ozono en altura, la medición radiométrica presenta la mayor diferencia. Por debajo de los 25 km, la relación de mezcla obtenida es mucho menor. Esto se debe a una deformación en la línea espectral base debido a limitaciones instrumentales, es decir, al efecto del receptor o debido a la opacidad atmosférica relativamente alta durante la observación. Por lo tanto, la condición de observación durante ese período de medición no es adecuado para obtener el perfil vertical por debajo de 25 km, y es necesario el perfeccionamiento del sistema de observación y el algoritmo de procesamiento de datos para obtener una mejor línea espectral de base y poder recuperar la relación de mezcla a estas alturas.

### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una caracterización resumida del radiómetro de ondas milimétricas perteneciente a la Universidad de Nagoya e instalado en el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral, Río Gallegos, sur de la Argentina. En el mismo se mencionan potenciales estudios geofísicos relacionados con la variabilidad de la mezcla de la relación de ozono que podrían realizarse con este instrumento. Además, se mostró una de las mediciones preliminares de perfiles de ozono en la alta estratósfera y mesósfera obtenida desde este instrumento para el 26 de marzo de 2011. Este perfil presenta valor máximo alrededor de los 35 km acorde a lo esperado. Se puede observar en la baja y media estratósfera, entre los 20 y 30 km, que la diferencia respecto al perfil de ozono medido por el satélite y el climatológico es mayor. Esto puede ser consecuencia de limitaciones operacionales del instrumento lo que deriva en una mala línea espectral base obtenida

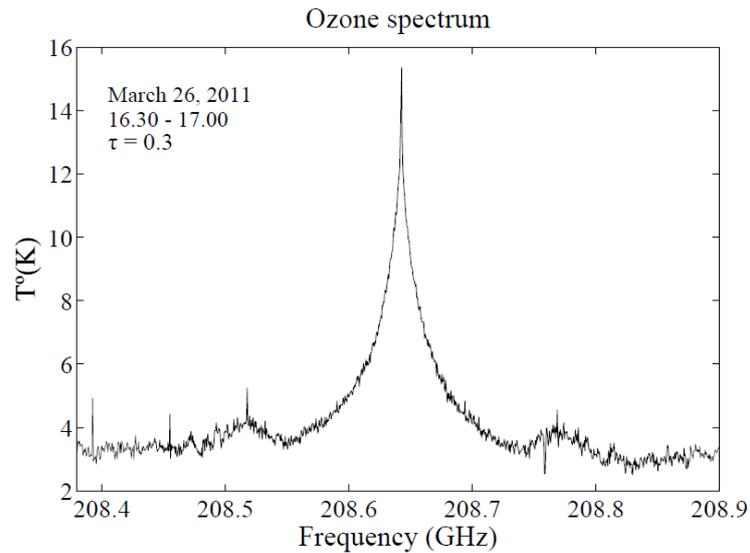


Figura 2. Espectro de ozono obtenido desde tierra por el radiómetro de ondas milimétricas instalado el 26 de marzo de 2011. El pico de temperatura de brillo ( $T^{\circ}$ ) corresponde a la línea de transición rotacional del ozono ( $\sim 208.6$  GHz).

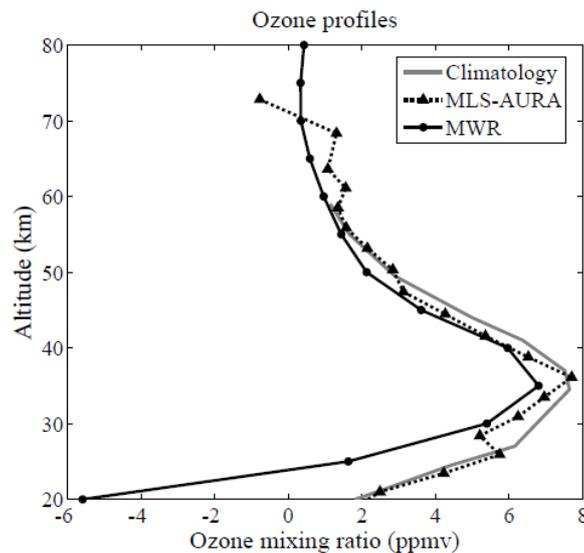


Figura 3. Perfil vertical de relación de mezcla de ozono obtenido en Río Gallegos para el 26 de marzo de 2011 por el radiómetro de ondas milimétricas (línea negra). La línea punteada y la línea gris muestran el perfil de ozono climatológico calculado para marzo y el perfil de ozono obtenido por el instrumento MLS para el 26 de marzo respectivamente.

Como una perspectiva a futuro se está pensando en la posibilidad de reemplazar el sistema receptor en la banda de 200 GHz por uno de 100 GHz este año. Esto se debe a que la transparencia de la atmósfera es mejor en la banda de los 100 GHz que en la banda de 200 GHz. Luego, se espera que la calidad del espectro sea mejorada. Aunque estos perfiles

de ozono deben ser mejorados, podemos decir que esta medida se encuentra en los valores aceptables teniendo en cuenta que son las primeras mediciones obtenidas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a JICA (Japan International Cooperation Agency) por la financiación de la campaña UVO<sub>3</sub>Patagonia; Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL), Universidad de Nagoya, Nagoya, Japón por los datos provistos; y al servicio público de Río Gallegos por suministro de energía eléctrica.

Los análisis y visualizaciones utilizadas en esta presentación fueron realizados con el sistema de datos online de Giovanni, desarrollado y mantenido por NASA Goddard Earth Sciences (GES) Data y Information Services Center (DISC).

## REFERENCIAS

- [1] Cacho J, Sainz de Aja M J., Antártida. El Agujero de Ozono, Tabapress, Madrid, (1989).
- [2] Chubachi S, “Preliminary result of ozone observations at Syowa station from February 1982 to January 1983”, *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue Jpn.*, Vol. 34, 13-19 (1984).
- [3] Farman, J. C., Gardiner, B. G. and Shanklin, J. D., “Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction”, *Nature*, 315, 207-210 (1985).
- [4] Lucas, R.M., McMichael, A. J., Armstrong, B.K., Smith, W.I., “Estimating the global disease burden due to ultraviolet radiation exposure”, *International Journal of Epidemiology*; 37 (3): 654-667(2008).
- [5] Orte, P. F., Wolfram, E. A., Salvador, J., D’Elia, R., Paes Leme, N., and Quel, E. J., “Synthesis of vitamin D and erythema irradiance obtained with a multiband filter radiometer and annual variation analysis in Río Gallegos, Argentina”, *J. Phys.*, 274 (1),(2011).
- [6] Shindell, D. T., Rind, D., Lonergan, P., “Climate Change and the Middle Atmosphere. Part IV: Ozone Response to Doubled CO<sub>2</sub>”, *J. Climate*, 11, 895–918 (1998).
- [7] Wolfram, E. A., Salvador, J., D’Elia, R., Quel, E. J., “UV ground based measurements in Río Gallegos, Argentina” *Current Problems in Atmospheric Radiation (IRS)*, 1100, 351-354(2008).
- [8] Wolfram, E. A., Salvador J., D’Elia, R., Godin-Beekmann, S., Pazmiño, A., Nakane, H., Quel, E. J., “Monitoring Ozone Hole Dilution Process In Río Gallegos, Argentina Using Dial Measurements“, *Reviewed and Revised Papers Presented at the 23rd International Laser Radar Conference 24th ILRC, Bolder, Colorado*, 798 (2008)
- [9] Wolfram, E.A., Salvador, J., Pallotta, J., D’Elia, R., Otero, L., Godin-Beeckmann, S., Nakane, H., Quel, E. J., “Solar Campaign: First Results of Ozone Profile Measurements at Río Gallegos, Argentina”. *23 International Laser Radar Conference (ILRC23)*, Nara, Japan (2006).
- [10] Wolfram, E., Salvador, J., Otero, L., Pazmiño, A., Porteneuve, J., Godin-Beeckmann, S., Nakane, H. and Quel, E., “Solar Campaign: Stratospheric Ozone Lidar of Argentina”. Accepted for the presentation en: *Lidar Remote Sensing for Environmental Monitoring VI*, part of the SPIE Optics & Photonics 2005 Symposium which will be held 31 July-4 August 2005 in San Diego, CA (2005).

- [11] Austin, J., N. Butchart, and K. P. Shine, “Possibility of an Arctic ozone hole in a doubled-CO<sub>2</sub> climate”, *Nature*, 360, 221–225, (1992)
- [12] Nagahama, T., Nakane, H., Fujinuma, Y., Ninomiya, M., Ogawa, H. and Fukui, Y., “Ground-based millimeter-wave observations of Ozone in the upper stratosphere and mesosphere over Tsukuba”, *Earth, Planets and Space*, 51, 1287 (1999).
- [13] Randel, W. J. and Newmal P. A., “The Stratosphere in the Southern Hemisphere”, CRC for Southern Hemisphere Meteorology, Monash University, Australia, chapter 6 of the AMS Monograph
- [14] Garcia, R. R., and B. A. Boville, ““Downward Control” of the mean meridional circulation and temperature distribution of the polar winter stratosphere”, *J. Atmos. Sci.*, 51, 2238–2245 (1994)
- [15] Malman, J. D. and Umscheid, L. J., “Comprehensive modeling of the middle atmosphere: the influence of horizontal resolution” In *Transport Processes in the middle Atmosphere*, ed. G. Visconti, D. Reidel Publishing Company, 251-256 (1987).
- [16] Boville, B. A., “Middle atmosphere version of CCM2 (MACCM2): Annual cycle and interannual variability”. *J Geophys. Res.*, 100, 9017-9040 (1995).
- [17] Alexander, S. P., “Rayleigh lidar observations of gravity wave activity in the winter upper stratosphere and lower mesosphere above Davis, Antarctica (69°S, 78°E)”, *J. Geophys. Res.*, 116, D13109 (2011).
- [18] Mizuno, A., Nagahama, T., Morihira, A., Ogawa, H., Mizuno, N., Yonekura, Y., Yamamoto, H., Nakane, H. and Fukui, Y., “Millimeter-wave radiometer for the measurement of stratospheric ClO using a superconductive (sis) receiver installed in the southern hemisphere”, *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 23 (7) (2002).
- [19] Ogawa, H., Mizuno, A., Hoko, H., Ishikawa, H. and Fukui, Y., “A 110GHz SIS receiver or radio astronomy”, *Int. J. of Infrared & Millimeter Waves*, 11, 717 (1990).
- [20] Rodgers, C. D., “Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation”, *Rev. Geophys.*, 14, 609–624(1976).
- [21] Fortuin, J.P.F. and Kelder, H., “An ozone climatology base on ozonesonde and satellite measurements”, *J. Geophys. Res.*, 103, 31, 709-31, 734 (1998).
- [22] Acker, J. G., Leptoukh, G., “Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data”, *Eos, Trans. AGU*, 88 (2), 14 and 17 (2007).

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO ÓPTICO PARA CALIBRACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE INSTRUMENTOS RADIOMÉTRICOS

Wolfram, E.<sup>1</sup>, Orte, P.F.<sup>2</sup>, Repetto, C. I.<sup>3</sup>, Raponi, M.<sup>1</sup>, Salvador, J.<sup>1,4</sup>, D'Elia, R.<sup>1</sup>, Vásquez, P. M.<sup>3</sup>, Dworniczak, J. C.<sup>1</sup>, Quel, E. J.<sup>1</sup>.

1: CEILAP (CITEDEF-CONICET)

Juan B. de la Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.  
e-mail: ewolfram@citedef.gob.ar; www.division-lidar.com.ar

2: Becario ANPCyT

3: Facultad Regional Buenos Aires, UTN  
Medrano 951, CABA, ARGENTINA

4: Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Gallegos,  
Santa Cruz, Argentina

**Palabras claves:** calibración, radiómetro, UV

**Resumen.** *El objetivo principal de este proyecto es el diseño y construcción de un banco óptico para calibración de dispositivos sensibles a la radiación electromagnética solar, particularmente radiómetros que miden en la región visible (VIS) y ultravioleta (UV) del espectro, como así también la elaboración de un protocolo de calibración, caracterización y testeo de estabilidad y degradación para este tipo de instrumentos. La radiación solar deteriora los sensores, afectando principalmente a aquellos que trabajan en el rango espectral UV (100nm a 400nm), disminuyendo significativamente su confiabilidad y exactitud. Por esta razón, para mantener en correcto funcionamiento una red de estudio y monitoreo sistemático de la radiación es forzoso calibrar y chequear de manera periódica la estabilidad del instrumental que la integra. Para cumplir esta necesidad se construirá un banco óptico para calibración y caracterización de radiómetros solares empleando lámparas patrones certificadas como principal componente y un conjunto de instrumentos y dispositivos existentes en los laboratorios de la División Lidar, perteneciente al Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP (CITEDEF-CONICET). Hasta el día de hoy, dichos instrumentos no han podido instalarse e integrarse como parte de una misma plataforma experimental. Este trabajo permitirá dar el primer paso hacia el desarrollo de un procedimiento - basado en patrones estandarizados - de calibración y caracterización de instrumentos de sensado de radiación solar, que facilitará el mantenimiento de redes de monitoreo locales. Así mismo, a través de este procedimiento, se podrá implementar de manera apropiada, la calibración de los sensores de irradiancia eritémica (sensibilidad similar a la piel humana) empleados por los solmáforos diseñados y construidos en el marco de proyectos de investigación de la Universidad Tecnológica Nacional.*

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Objetivo del proyecto

El objetivo principal del proyecto es el diseño y construcción de un banco óptico para calibración de dispositivos sensibles a la radiación electromagnética solar, particularmente radiómetros que miden en la región visible (VIS) y ultravioleta (UV) del espectro, como así también la elaboración de un protocolo de calibración, caracterización y testeo de estabilidad y degradación para este tipo de instrumentos.

La radiación solar deteriora los sensores, afectando principalmente a aquellos que trabajan en el rango espectral UV (100nm a 400nm), disminuyendo significativamente su confiabilidad y exactitud. Por esta razón, para mantener en correcto funcionamiento una red de estudio y monitoreo sistemático de la radiación es forzoso calibrar y chequear de manera periódica la estabilidad del instrumental que la integra. Para satisfacer esta necesidad se propone la construcción de un banco para calibración y caracterización de radiómetros solares utilizando un conjunto de instrumentos y dispositivos existentes en los laboratorios de la División Lidar, perteneciente al Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP (CITEDEF-CONICET). Hasta el día de hoy, dichos instrumentos no han podido instalarse e integrarse como parte de una misma plataforma experimental.

Este trabajo permitirá dar el primer paso hacia el desarrollo de un procedimiento - basado en patrones estandarizados - de calibración y caracterización de instrumentos de sensado de radiación solar, que facilitará el mantenimiento de redes de monitoreo locales. Así mismo, a través de este procedimiento, se podrá implementar de manera apropiada, la calibración de los sensores de irradiancia eritémica (sensibilidad similar a la piel humana) empleados por los solmáforos diseñados y construidos en el marco del proyecto vigente "Desarrollo de 3 prototipos de solmáforo, con adquisición, almacenamiento, visualización y transmisión de datos" UTI1224 - 25/C124 (en Convenio con CITEDEF).

### [1] 1.2. Importancia de la radiación UV

La radiación ultravioleta (UV) abarca el intervalo de longitudes de onda desde los 100 nm hasta los 400 nm, y se divide en tres bandas: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) y UVC (100-280 nm). El ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono presentes en la atmósfera absorben toda la radiación UVC proveniente del sol, el 90% de la UVB y en menor medida la UVA. En consecuencia, la radiación UV que alcanza la superficie terrestre está compuesta mayoritariamente por rayos UVA y minoritariamente por rayos UVB. Esta pequeña porción de radiación de longitudes de onda corta tiene extrema importancia en el desarrollo de la vida en la Tierra tal como la conocemos. En la actualidad se sabe que el hombre ha modificado la composición de los gases atmosféricos, y consecuentemente los niveles de radiación que alcanzan la superficie. Debido a la destrucción de la capa de ozono por contaminantes de origen antropogénico (producidos por la actividad humana), se ha observado un aumento significativo de la componente solar UV-B, principalmente a latitudes medias y altas en ambos hemisferios. Mediciones efectuadas a nivel mundial, parecen indicar que el ozono está alcanzando su máxima reducción y se espera que en las próximas décadas comience la recuperación. Esto hace pertinente y necesario monitorear la variación, respecto de sus patrones naturales, de los parámetros atmosféricos y componentes radiativos.

Las radiaciones solares en el rango UVB son las más energéticas que llegan a nivel de la

superficie terrestre por fotón incidente, y en consecuencia producen acciones biológicas de importancia sobre los seres vivos y materiales expuestos al Sol [1]. La energía de estos fotones es suficientemente alta como para inducir efectos destructivos en las moléculas que componen ciertas sustancias expuestas a esta radiación. Entre ellas, la de mayor significación es la molécula de ADN - íntimamente relacionada con los seres vivos - que tiene su máximo de acción biológica debida a la radiación solar en el entorno 305-310 nm [2]. A nivel internacional [3] [4] se emplea la acción biológica eritémica (de enrojecimiento de la piel) como indicadora del riesgo de exposición al Sol, a través del índice ultravioleta (IUV), que se define como la irradiancia eritémica – producto de la irradiancia espectral solar por el espectro de acción eritémica presentado por MacKinlay y Diffey [5], y expresado en W/m<sup>2</sup> – multiplicada por el factor 40 m<sup>2</sup>/W, de modo que este índice tome valores que van usualmente entre 0 y 10, aunque se pueden registrar mediciones superiores a 16 en casos extremos.

## 2. MONITOREO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA ARGENTINA

La radiación UV ambiental es altamente variable. Algunas de estas variaciones son fácilmente cuantificables, como la elevación solar en función de la latitud, la hora del día y la estación del año. La distribución en superficie están influenciada por la variación de la columna de ozono estratosférico (que ha sido estudiada desde la década del 50 en estaciones de observación en tierra, y más recientemente por métodos de sensado remoto como lidares y satélites), y factores menos predecibles, o pobremente caracterizados hasta la fecha, tales como nubes, además de perturbaciones localizadas que pueden provenir de elevaciones en la superficie, reflexiones y turbidez atmosférica (asociada con la contaminación del aire). Frederick y su equipo [6] notaron que la variabilidad en la cobertura nubosa está entre las fuentes más grandes de variación en la irradiancia UV integrada en superficie, por lo tanto, para detectar tendencias en la radiación UVB provocadas por cambios en el ozono total, se deben establecer redes de monitoreo capaces de medir radiación UV, ozono total y transmisión de nubes.

A nivel nacional, están operativas dos redes de monitoreo de la radiación UV solar en superficie:

- La red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN): Cuenta con radiómetros de banda ancha (típicamente 30nm o 40nm) distribuidos a lo largo del país, incluyendo la región Antártica. Los equipos tienen incorporados filtros que simulan la respuesta espectral de la piel a la incidencia de UV por cuanto normalmente son llamados biómetros. La salida de estos instrumentos en valores calibrados es la irradiancia eritémica (enrojecimiento de la piel) que se convierte vía un factor multiplicativo en el índice UV solar de distribución al público.
- La Red Latitudinal de Monitoreo Solar Argentina (<http://www.dna.gov.ar>): Está dotada con radiómetros GUV (Ground-based UV) multicanales, distribuidos en el territorio argentino, los cuáles sensan radiación UVA y UVB a través de canales que cubren esta porción del espectro solar, con un ancho de banda (para cada uno de sus filtros) de aproximadamente 10 nm. Estos instrumentos han demostrado ser una solución aceptable para este tipo de mediciones, entre los espectro-radiómetros UV muy costosos y de gran mantenimiento, y los radiómetros de banda ancha que solo proveen información parcial debido a que no pueden distinguir entre variaciones de la radiación UV causadas por alteración en la cobertura nubosa y variaciones causadas por cambios en el contenido total de ozono. La División Lidar del CEILAP tiene a su cargo un instrumento GUV 541 que se unió a esta red en 2004, y desde junio de 2005 se

encuentra operativo en la ciudad de Río Gallegos como parte de la Estación de Sensado Remoto Pasivo ([www.division-lidar.com.ar](http://www.division-lidar.com.ar)).

Así mismo, en la UTN FRBA, sede Medrano, y en el CEILAP se dispone de un grupo de sensores pasivos, denominados radiómetros espectrales y de banda angosta para el sensado continuo de la radiación en la superficie terrestre. Estos instrumentos permiten evaluar la variabilidad estacional de las radiaciones solares, además se desempeñan como patrones secundarios de calibración para desarrollos de instrumentos de uso en el monitoreo de este tipo de radiación.

### **3. TIPOS DE CALIBRACIÓN DE RADIÓMETROS**

#### **[1] 3.1. Calibración con lámparas**

Tradicionalmente, las calibraciones de este tipo de instrumentos se realizan a través de la utilización del Sol ó de lámparas como fuente de radiación, aunque en la actualidad, algunos autores sugieren una combinación de ambas como el mejor método [7]. En los radiómetros con banda sombreadora, o con seguidores solares, el método de los gráficos de Langley ha sido propuesto como el más adecuado [8] [9].

Las calibraciones empleando lámparas patrones se realizan en laboratorios acondicionados apropiadamente (con ambientes oscuros) y están sujetas a errores que pueden provenir de la diferencia entre la distribución espectral y espacial de la radiación que proviene de las lámparas y la que emite el Sol. La calibración utilizando el Sol, puede ser realizada siguiendo diferentes protocolos: uno de ellos consiste en colocar el instrumento junto a un espectroradiómetro calibrado; en el otro caso, se realiza utilizando un patrón secundario (previamente calibrado contra el espectroradiómetro) que se coloca junto al radiómetro a calibrar. Los espectroradiómetros calibrados se encuentran en el hemisferio norte, por consiguiente, el primer procedimiento de los mencionados, implica la interrupción del proceso de mediciones sistemáticas al cual el instrumento se encuentra afectado, para trasladarlo al sitio de calibración, por un lapso que en muchos casos toma varios meses, además del costo que este procedimiento en sí mismo representa para el país. La ventaja de este método es que el factor de calibración se transfiere directamente desde el espectroradiómetro de referencia al radiómetro que uno quiere calibrar.

#### **[1] 3.2. Calibración Solar**

En el segundo método, se utiliza un patrón secundario viajero, el sensor a calibrar no necesita ser desinstalado, por lo que el registro de la serie de mediciones no se interrumpe. No obstante, el error en las constantes de calibración puede llegar a ser grande ya que son transferidas desde el espectroradiómetro de referencia al patrón secundario, y de éste al radiómetro que se pretende calibrar. Este método es usualmente utilizado cuando muchos instrumentos pertenecientes a una red requieren ser calibrados, como en el caso de la Red Latitudinal de Monitoreo UV de la Argentina que utiliza radiómetros multifiltro tipo GUV (Figura 1).



Figura 1. Campaña de calibración de radiómetro GUV 541 de la Estación de Sensado Pasivo del CEILAP en Río Gallegos en Enero de 2011, utilizando el radiómetro GUV 511 de referencia (RGUV).



Figura 2. Intercalibración de radiómetros de banda ancha utilizando el patrón secundario viajero de la sede Davos, Suiza, del WMO. La experiencia se realiza cada 4 años en la sede de Villa Ortúzar del SMN.

El Servicio Meteorológico Nacional utiliza una combinación de los dos métodos para la calibración de los radiómetros UV: cada 4 años, todos los equipos de la red se trasladan a la sede central en Villa Ortúzar para su intercomparación con un patrón secundario traído de Davos, Suiza (Fig. 2).

De lo expuesto, se infiere que la calibración adecuada de radiómetros UV combina diferentes experiencias, y el uso tanto del Sol como de lámparas como fuente de radiación.

Distintas redes de monitoreo nacionales han intentado a través de proyectos y colaboraciones internacionales realizar calibraciones con el Sol como fuente radiante y patrones secundarios viajeros, pero estos procedimientos están sujetos a la continuidad de los proyectos que los financian, requiriendo un gran esfuerzo de logística y coordinación entre varios países e instituciones. Tampoco hay en Argentina laboratorios que realicen calibración y caracterización de los radiómetros UV (de banda ancha y multifiltros) con lámparas, debido a que los insumos necesarios y el equipamiento específico para llevar adelante esta tarea son muy costosos y la inversión no se sostuvo en el tiempo.

## 4. METODOLOGÍA

### [1] 4.1. Experiencias previas

Se realizaron grandes esfuerzos económicos y humanos para mantener en funcionamiento los instrumentos de sensado pasivo (radiómetros UV/Visibles de banda ancha y multifiltros) operativos en la División lidar del CEILAP y en la UTN FRBA. Incluso se ha incursionado en metodologías de calibración híbridas, que combinan modelos de transferencia radiativa atmosférica (TUV, LibRadTran [10], etc) con métodos tradicionales [11], en un intento de encontrar solución a los elevados costos requeridos para mantener calibrados y adecuadamente caracterizados los instrumentos de medición UV dedicados al estudio de la atmósfera en nuestro país.

A través de financiación otorgada por proyectos de investigación previos (Proyecto de Colaboración Internacional con JICA (2007-2011) y PICT 2006/ANPCyT Nro.0859, ambos

dirigidos por el Dr. Eduardo Quel), la División Lidar adquirió el instrumental de precisión necesario para dar los primeros pasos en la confección de un banco para calibración y caracterización de radiómetros UV, lo cual permitiría diseñar y evaluar protocolos de calibración como los mencionados previamente.

Es así que hoy día se cuenta con una lámpara FEL halógena de tungsteno con cubierta de cuarzo (de 1000 W de potencia), certificada por NIST (National Institute of Standards and Technology), calibrada en longitud de onda e intensidad espectral absoluta, componente fundamental del propuesto banco de calibración. También se cuenta con filtros ópticos y un analizador espectral (espectroradiómetro HR4000 de Ocean Optics) para realizar pruebas de alineación y caracterización de la radiación incidente.

Además de la lámpara halógena calibrada, se cuenta con otras dos, lámparas gemelas sin certificado de calibración, que se utilizarán para las pruebas de iluminación y alineación de los componentes. Todos estos componentes aún no han sido utilizados en una experiencia integrada de laboratorio, por lo que el presente proyecto brindará la oportunidad de concretar este hecho.

## [1] 4.2. Armado experimental

Debido a que el presente proyecto busca armar y poner en funcionamiento un banco de calibración y caracterización de dispositivos sensibles a la luz, las dos primeras etapas de ejecución del proyecto estarán vinculadas al armado y ensamble del instrumental como parte de un mismo dispositivo. Las etapas posteriores incluirán la utilización del banco óptico para realizar las primeras experiencias de calibración. Para ellos se proponen las siguientes cuatro etapas:

Primera etapa: adquisición de los materiales necesarios para completar el “setup” experimental

Segunda etapa: Armado del banco de calibración

Tercera etapa: Puesta a punto del protocolo de calibración

Cuarta etapa: desarrollo de la primera experiencia de calibración de radiómetro UV y multifiltro GUV 541 de la estación de Sensado Remoto Pasivo del CEILAP

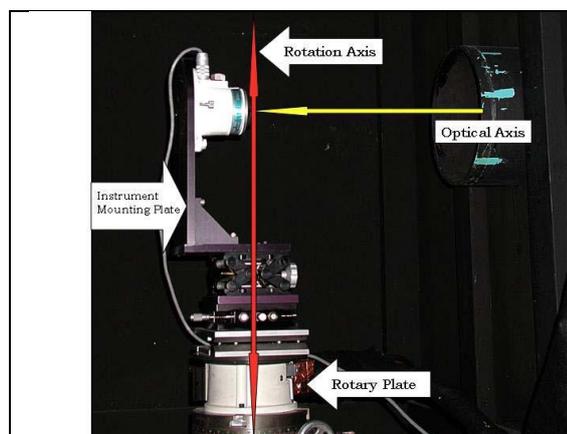


Figura 3. Ejemplo del montaje a realizar para caracterizar la respuesta en coseno de un radiómetro

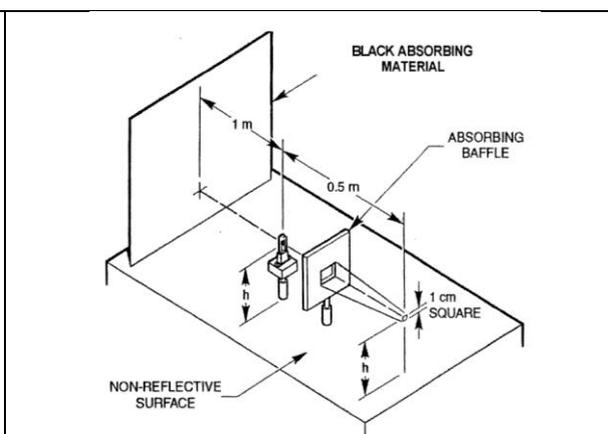


Figura 4. Ejemplo del montaje de la lámpara de Tungsteno a utilizar en el banco de calibración

En la figura 3 se muestra un ejemplo de la geometría a utilizar para montar la caracterización en ángulo que este tipo de radiómetros suele tener (repuesta en coseno), mientras que en la figura 4 se da un ejemplo del montaje de la lámpara de Tungsteno a utilizar en el banco de calibración, la cual será montada sobre una mesa con gran estabilidad mecánica, que permitirá reproducir confiablemente las experiencias.

## 5. CONCLUSIONES

La puesta en funcionamiento de un banco para calibración y caracterización con lámparas le dará al país una herramienta fundamental para completar localmente el procedimiento necesario que se requiere al abordar el mantenimiento de los radiómetros UV dentro de las redes de monitoreo existentes y futuras. A través del proyecto podrán continuarse las investigaciones y desarrollos iniciados gracias a subsidios de diferentes fuentes de financiación Nacionales e Internaciones, que han sido otorgados a la División Lidar, a lo largo de estos últimos años. Además, permitirá adquirir experiencia en los procedimientos de calibración y caracterización de radiómetros UV que actualmente el país no posee.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la JICA (Japanese International Cooperation Agency), Argentina, por la financiación de parte de los insumos que serán utilizados en el presente proyecto, así como también a la SAE (UTN/FRBA) por la beca de estudio a parte de los miembros del presente proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] Zerefos C., Bais A.F. "Solar Ultraviolet Radiation", *Springer*, (1997).
- [2] Jagger, J. "Solar UV actions on living cells", *Editorial Praeger*, New York, (1985).
- [3] WMO (2003). Índice UV Solar Mundial: Guía Práctica. Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante.
- [4] UNEP, "Environmental effects of ozone depletion and its interaction with climate change", *UNEP Report*, (2003).
- [5] McKinlay, A., and B. L. Diffey, "A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, in Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations", edited by W. Passchier and B. Bosnjakovich, *Elsevier*, (1987).
- [6] Frederick, J. E., H. E. Snell, and E. K. Haywood, *Photobiol.* 50:443-450 (1989)
- [7] Hoiskar, B. A. K., R. Haugen, T. Danielsen, A. Kylling, K. Edvarsen, A. Dahlback, A. Johnsen, M. Blumthaler, and J. Schreder, "Multichannel moderate-bandwidth filter instrument for measurement of the ozone-column amount, cloud transmittance, and ultraviolet dose rates," *Appl. Opt.* 42, 3472–3479 (2003).
- [8] Schmid B. and C. Wehrli, "Comparison of Sun photometer calibrations by use of the Langley technique and the standard lamp," *Appl. Opt.* 34, 4500–4512 (1995).
- [9] Slusser J., J. Gibson, D. Bigelow, D. Kolinski, P. Disterhoft, K. Lantz, and A. Beaubien, "Langley method of calibrating UV filter radiometers", *J. Geophys. Res.* 105, 4841–4849 (2000).
- [10] Mayer, B. and Kylling, "A.: Technical note: The libRadtran software package for

- radiative transfer calculations - description and examples of use”, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1855-1877, doi:10.5194/acp-5-1855-2005, (2005).
- [11] Salvador J., E. Wolfram, R. D’Elia, F. Zamorano, C. Casiccia , A. Rosales and E. Quel “An alternative method for calibration of narrow band radiometer using a radiative transfer model”, Issue Volume 274, Number 1,2011 *J. Phys.: Conf. Ser.* 274 012107 doi: 10.1088/1742-6596/274/1/012107.

## FORZANTES EXTERNOS AL PLANETA Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA: PID-UTN

Cionco, Rodolfo G.<sup>1</sup>; Compagnucci Rosa H.<sup>2</sup>; Rodriguez, Ruben L.<sup>1</sup>; Velasco-Herrera, Víctor M.<sup>3</sup>; Silvestri, Gabriel E<sup>4</sup> y Agosta Eduardo A.<sup>5</sup>

1: Grupo de Estudios Ambientales  
Facultad Regional San Nicolás  
Universidad Tecnológica Nacional  
Colón 332, San Nicolás (2900)  
e-mail: gcionco@frsn.utn.edu.ar, rrodriguez@frsn.utn.edu.ar

2: Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos  
Facultad de Cs. Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires  
Ciudad Universitaria, Pabellón II; CABA (1428)  
e-mail: rhc@fcen.uba.ar

3: Instituto de Geofísica  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria Del. Coyoacán; México D.F. (C.P. 04510)  
e-mail: vmv@geofisica.unam.mx

4: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera  
Universidad de Buenos Aires  
Ciudad Universitaria, Pabellón II; CABA (C1428EGA)  
e-mail: gabriels@cima.fcen.uba.ar

5: Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global  
Pontificia Universidad Católica Argentina  
Av. A. M. de Justo 1600; CABA (C1107AAZ)  
e-mail: eagosta@uca.edu.ar

**Palabras clave:** Medioambiente, Modelos, Forzantes del clima, Variabilidad climática

**Resumen.** *En este trabajo se exponen los lineamientos, grado de avance y algunos resultados del proyecto homónimo recientemente aprobado en UTN. Se propone una clasificación de los forzantes astronómicos del clima terrestre con la finalidad de desarrollar modelos y bases de datos para su estudio. Se espera disponer de sólidas herramientas teóricas para aplicaciones concretas en variabilidad climática del pasado, el presente y el futuro.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El sistema climático terrestre está sujeto a un conjunto de fuentes de energía denominadas genéricamente *forzantes*, cuya dinámica tiene la capacidad de producir variabilidad climática en distintas escalas de tiempo y que a su vez, no son afectadas por el clima. La atmósfera, los continentes y los océanos conforman el sistema climático terrestre. Este sistema absorbe y redistribuye la irradiancia solar total (IST, potencia de la energía solar emitida en toda la

banda espectral) por medio de procesos dinámicos acoplados no-lineales de carácter radiativos, hidrotérmicos, hidrodinámicos y geoquímicos, que dan por resultado los rasgos climáticos fundamentales (tanto globales como locales), observados en la atmósfera, los océanos y los continentes del planeta. En general, los modelos de evolución climática sólo contemplan la variación de la concentración de los gases de invernadero, pero no tienen en cuenta otros forzantes (Intergovernmental Panel of Climatic Change, [1]). En [1], se sostiene que determinadas oscilaciones climáticas, que sus modelos no pueden explicar, serían manifestaciones pobremente entendidas del funcionamiento interno del sistema, como por ejemplo, la dinámica oceánica. Sin embargo, las oscilaciones de la atmósfera y los océanos, como por ejemplo la Oscilación “Decadal” del Pacífico o la Oscilación “Multi-decadal” del Atlántico, podrían ser inducidas por un complejo forzamiento extraterrestre actuando sobre el clima. En efecto, el sistema climático presenta patrones cíclicos que recuerdan periodicidades de origen astronómico. Esto se observa en series de temperatura superficial las cuales están caracterizadas por oscilaciones decenales y bidecenales, de buen acuerdo con los períodos de Schwabe (11 años) y Hale (22 años) del ciclo solar [2, 3] y otros períodos relacionados con la dinámica luni-solar [4, 5].

Los mecanismos forzantes del clima pueden clasificarse en diferentes grupos desde el punto de vista de su origen; todas las influencias externas al planeta son de origen astronómico y debido a esto, suelen encontrarse en la literatura términos como forzantes externos o *forzantes astronómicas*. Sin embargo, cuando se habla de forzamiento astronómico sobre el clima se hace referencia solamente a las variaciones de largo período en la órbita e inclinación de la Tierra en el espacio, imprescindibles para explicar eventos paleoclimáticos como las glaciaciones [6], y en menor medida, a la acción del Sol sobre el clima a través de un forzamiento radiativo (cambios en la IST) [6].

La principal fuente de energía del sistema climático es la IST; por lo tanto, cambios en esta fuente repercuten fuertemente en el clima. La influencia de la actividad solar sobre el clima es objeto de estudio y debate desde hace décadas [7]. El Sol afecta al clima mediante dos procesos: variaciones de la IST y de la acción magnética directa. Algunos mecanismos físicos que explican ambas interacciones ya han sido propuestos; por ejemplo, variaciones pequeñas de la temperatura solar podrían provocar ondas de difusión las cuales pueden modificar la luminosidad del Sol y de esta forma, provocar variabilidad climática [8]. La acción magnética directa, ha sido tratada en detalle por varios autores; especialmente [9], puntualizando que la actividad solar puede desencadenar eventos de calentamiento, como el actual, posiblemente a través de perturbaciones de la troposfera debido a emisiones de plasma solar. Ambos procesos originados en el Sol no son independientes, ya que la IST presenta además variaciones debidas al ciclo magnético solar, y en el estudio de la acción del Sol sobre el clima suelen considerarse en forma conjunta, sin mayores disquisiciones.

No obstante, cambios en la IST recibida, no necesariamente se deben a variaciones propias del Sol (de su dinámica interna), sino que pueden depender de factores que modifican la forma en que esa energía llega al planeta. Un claro ejemplo son las ya mencionadas variaciones orbitales terrestres. Los cambios en la “circularidad” de la órbita del planeta debido a perturbaciones planetarias y de la orientación (oblicuidad) y velocidad de precesión del eje de rotación terrestre respecto a un sistema inercial en el espacio (ambos fenómenos originados en la distribución de masa de la Tierra y en las perturbaciones planetarias y luni-solares) modifican la IST recibida (tanto en promedio como para una ubicación geográfica en particular), con períodos que van aproximadamente de 14 ka a 100 ka (1 ka = 1000 años);

estos son los denominados ciclos de Milankovitch [6]. Sin embargo otros fenómenos astronómicos también interactúan con la IST y afectan el clima de una forma que recién comienza a estudiarse y comprenderse.

La influencia de los rayos cósmicos galácticos (RCG) es casi excluida de los modelos climáticos y sólo en algunos de los más simples es tomada en cuenta, mediante la inclusión de la variación de nubes de media y baja altura [10, 11]. La consideración de los RCG es importante no solamente en climatología, sino también respecto a efectos de corto plazo sobre la biosfera en general, debido a que la actividad solar modula la incidencia de RCG a nivel del mar, potenciando, por ejemplo, la radiación UV en tierra lo cual indica que el flujo de RCG puede tener efecto directo sobre la salud humana. La incidencia de RCG respecto a la posición del Sol en la galaxia está asociada con variaciones importantes del clima del pasado. Más aún, existen resultados que indican una clara conexión entre las variaciones Sol-RCG y el clima del cono Sur en el período preinstrumental. Agosta y Martin [12], encontraron efectos concretos sobre el clima de Argentina, en particular anomalías opuestas de temperatura y precipitación entre el norte y el sur de Patagonia y a su vez señales opuestas en las diferencias determinadas por “proxy” datos, entre condiciones de máximo flujo de RCG (como lo ocurrido durante la Pequeña Edad de Hielo (PEH) – entre los años 1400 y 1880 aproximadamente) y de flujo mínimo de RCG (como lo ocurrido en el Calentamiento Medieval (CM) – entre los años 700 y 1100 aproximadamente). Compagnucci y Tonni [13], también encontraron señales opuestas del mismo tipo entre el CM y la PEH en la provincia de Buenos Aires.

Existe también un cuerpo creciente de evidencias indicando que la actividad solar es influenciada por los movimientos planetarios. El Sol no permanece fijo dentro del Sistema Solar, sino que posee una dinámica propia alrededor del baricentro del Sistema (movimiento solar inercial o *baricéntrico*, MSB), reflejo de los movimientos planetarios. La *hipótesis planetaria de los ciclos del Sol* es una idea que esporádicamente comenzó a desarrollarse hace más de 100 años, debido a que el ciclo solar más evidente, el ciclo de Schwabe, es similar al período orbital de Júpiter (11.8 años). Desde entonces, numerosos trabajos han descripto fenomenológicamente la posible influencia planetaria en la actividad solar, principalmente a través de la modulación de los ciclos de manchas solares, i. e., modulaciones de la actividad de la dínamo solar [14, 15,16, 17, 18, 19]. Este es uno de los temas donde es necesario expandir el trabajo y sumarlo a los estudios corrientes de variabilidad climática. En efecto, varios autores han mostrado señales planetarias en parámetros climáticos, principalmente en registros de temperatura global y en series de El Niño Oscilación Sur (ENSO) [4, 16, 18]. Por lo tanto el posible origen celeste de la modulación de los ciclos del Sol no es sólo importante para entender cómo funciona la dínamo solar (ver por ejemplo, [20]); sino también para dilucidar mecanismos de interacción Sol-Tierra. En particular es importante relacionar la actividad solar y el clima en las épocas denominadas de los *Grandes Mínimos*. En estas épocas la actividad solar ha sido extremadamente baja, por ejemplo en el Mínimo de Dalton (1790-1820) o el de Maunder (1640-1715) [21,22]. Estos Grandes Mínimos se dan, aproximadamente, cada 179 años, lapso coincidente con el período de cuasi-alineación de los planetas gigantes del Sistema Solar (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) los cuales tienen la capacidad de producir la mayor variación del momento angular orbital del Sol [19, 23].

Además de los planetas, los cuerpos menores del Sistema Solar, pueden tener un efecto sensible en el clima terrestre y han sido tenidos en cuenta sólo eventualmente en las descripciones climáticas del pasado o para explicar eventos supuestamente catastróficos; por

ejemplo, anomalías atmosféricas relacionadas con el evento de Tunguska. En particular, Zecca y Chiari [24], sostienen que una conexión entre el clima y los cometas existe, pudiendo éstos, en función de su propia dinámica orbital, producir un enfriamiento del orden de  $0.1^{\circ}\text{C}$ . En base a todo lo anteriormente expuesto, resulta claro que no es posible eludir las particularidades astronómicas a la hora de estudiar variabilidad climática en todas las regiones de la Tierra y en América en particular, y la necesidad de profundizar en las teorías e hipótesis que vinculan la física de la acción de estos forzantes sobre el clima del pasado, el presente y el futuro. Consecuentemente, primero, se propone la siguiente clasificación de los forzantes astronómicos sobre el clima:

1. **SOLAR:** es la variación intrínseca de la cantidad y/o tipo espectral de la energía emitida por el Sol y de la actividad magnética generada en la dínamo solar, ambas con importantes consecuencias para el planeta y el sistema climático en particular. El Sol posee una fuerte actividad magnética, evidenciada a través de ciclos de manchas solares de variada duración e intensidad y a través de tormentas solares. La irradiancia solar total y la actividad magnética, no son independientes, y ambas modifican el clima per se, o en forma conjunta.
2. **PLANETARIO:** el Sistema Solar es un gran oscilador cuyo centro de masa permanece fijo en el espacio; para compensar el movimiento planetario, el Sol describe una trayectoria compleja alrededor del baricentro del sistema. Existe una hipótesis planetaria de los ciclos solares de tal forma que puede establecerse una vinculación entre el movimiento solar baricéntrico y la actividad magnética solar. Además, períodos de origen planetario, observados en estos ciclos, son también observados en series de temperatura terrestre; por lo tanto, una posible influencia planetaria en el clima se viene describiendo de la cual se posee cada vez más evidencia empírica.
3. **ORBITAL:** está originado en los cambios de excentricidad de la órbita terrestre debido a perturbaciones planetarias y a cambios en la oblicuidad y velocidad de precesión del eje de rotación terrestre en el espacio. Es lo que históricamente se ha conocido como teoría astronómica del clima o de Milankovitch.
4. **GALÁCTICO:** los rayos cósmicos galácticos son principalmente núcleos de hidrógeno y helio, iones pesados (C, O, Fe, etc.) y electrones originados en el medioambiente galáctico. Se detectan a través de flujos o lluvias las cuales están anti-correlacionadas (correlacionadas en oposición de fase) con el número de manchas solares. Se ha mostrado empíricamente que las lluvias de rayos cósmicos galácticos de baja energía están vinculadas con la formación de nubes y con otros parámetros geofísicos. La posición del Sol en la galaxia podría condicionar notablemente el flujo detectado de rayos cósmicos galácticos en el planeta.
5. **IRREGULAR:** con este término se denominará a pequeños cuerpos del sistema solar como cometas y asteroides, con posibilidad de provocar choques catastróficos y producir agudas modificaciones climáticas; pudieron tener una importante participación en el clima del pasado y, posiblemente, puedan tenerla en el futuro.

Al mismo tiempo, es evidente la necesidad de considerar estos forzantes para establecer los mecanismos físicos de cambio global en escalas de tiempo de diversa duración. Como se ve,

la mayoría de estos forzantes están relacionados con el Sol, y se manifiestan en diferentes escalas de tiempo de forma más o menos evidente o controversial sobre el clima, y su estudio no puede soslayarse tanto para un adecuado entendimiento de la respuesta del sistema climático frente a la totalidad de sus forzantes, como para comprender los mecanismos de funcionamiento de estos forzantes con relación al clima. Para ello, es indispensable poseer modelos, datos procesados y herramientas de cálculo de diverso tipo vinculados a esta problemática.

## **2. MÉTODOS DE ESTUDIO**

El modelado e implementación de forzantes astronómicos es un tema principalmente “numérico”, y esta será la técnica más común de trabajo, junto con herramientas analíticas. Se desarrollarán códigos ForTran y/o C++ en entornos GNU-Linux y eventualmente se usará software “propietario”. Para todo esto, en la UTN-FRSN, se acondicionarán computadoras accesibles vía protocolos ssh y sftp que en un futuro serán conectadas con nuevas máquinas, accesibles en forma remota, dentro y fuera de UTN.

Se implementarán modelos dinámicos nuevos y otros ya existentes (propios y de otros autores). Los forzantes planetario, orbital e irregular, se estudiarán mediante simulaciones de  $N$ -cuerpos y desarrollos semi-analíticos. Para los forzantes solar y RCG, se tendrán bases de datos con las últimas observaciones disponibles junto con programas que permitan realizar comparaciones fenomenológicas entre éstos y diversos parámetros climáticos. Además se implementarán y eventualmente desarrollarán simuladores y programas de evolución climática. Será fundamental el uso de herramientas de análisis de series de tiempo y señales, principalmente periodogramas y métodos basados en wavelets, cross-wavelets y máxima entropía. De ser necesario se aplicarán técnicas de análisis multivariado tales como componentes principales y “singular value decomposition” para el estudio de conexiones entre series de RCG y variables atmosféricas, especialmente para llenar “gaps” en series de datos y proxy-datos.

## **3. RESULTADOS ESPERADOS Y ALGUNOS YA OBTENIDOS**

La influencia de los forzantes astronómicos sobre el clima y su incidencia en los cambios climáticos del pasado y posibles cambios futuros, es un tema amplio y multidisciplinario; un primer resultado esperado es llenar esta brecha disciplinaria que exige alto grado de especialización y vinculación entre ciencias de la Tierra, la atmósfera y el espacio. De interés general, es disponer de modelos que permitan describir cualitativa y cuantitativamente los distintos forzantes astronómicos para cualquier aplicación concreta. Esto permitirá en forma directa: alimentar modelos de clima, realizar comparaciones fenomenológicas con reconstrucciones paleo y neo-climáticas y realizar simulaciones para explorar cómo esos forzantes contribuyen a determinadas situaciones climáticas de cualquier época. Por lo tanto el manejo detallado de todos los forzantes astronómicos resulta en una completa autonomía en estudios climáticos para diversos grupos de investigación. Como complemento, las simulaciones de  $N$ -cuerpos con forzantes astronómicos y modelos acoplados de equilibrio radiativo, permitirán también reconstruir y entender particularidades climáticas de planetas en formación, o ya formados en medio ambientes distintos al nuestro y a través de ellos, obtener información sobre rasgos fundamentales del pasado o del futuro de nuestro planeta.

La existencia de un forzante implica una conexión física, una causalidad que no siempre se

conoce; este es el caso, por ejemplo, del forzante planetario; una meta general es contribuir al conocimiento de los mecanismos físicos detrás de los forzantes externos al planeta y el clima. Particularmente en este forzante es donde el desarrollo de modelos es imperativo y se viene trabajando con interesantes resultados. Por ejemplo, hasta el presente todos los trabajos utilizaban la aproximación plana del MSB considerando que la geometría 2D era suficiente para estudiar el problema; recientemente Cionco y Compagnucci [23] han demostrado que el tratamiento en el espacio físico 3D es imprescindible para describir la dinámica esencial del MSB. La vinculación de este fenómeno con la dinámica planetaria necesita de más estudio, y es importante destacar que ha sido demostrado que durante los momentos de movimiento solar baricéntrico retrógrado (componente Z negativa del momento angular orbital solar  $L$ ) el Sol recibe impulsos muy particulares por parte de los planetas gigantes en sentido Sol-baricentro ( $a_\pi$ ), además de otras particularidades dinámicas que sólo son visibles en un sistema de referencia ligado a la órbita osculadora del MSB [23, 25]. Estos impulsos han sido sugeridos como una probable causa de sincronización de la dínamo solar con el MSB. En efecto, al menos durante el último milenio, este tipo de impulsos han ocurrido sólo al inicio del Mínimo de Maunder (1632), en el período más bajo del Mínimo de Dalton (1811) y durante el máximo del ciclo solar 22, en 1990 (Fig. 1).

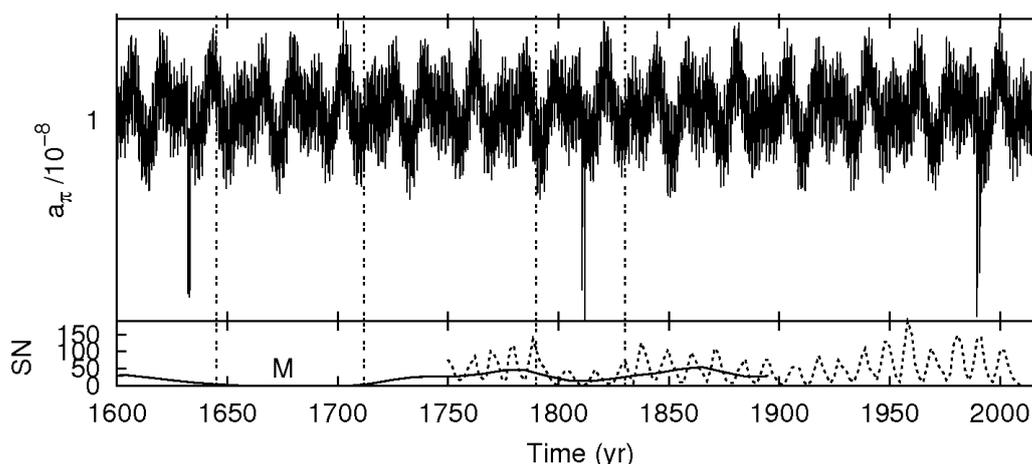


Fig. 1. Naturaleza impulsiva de las componentes radial ( $a_\pi$ ) de la aceleración solar respecto al baricentro del Sistema Solar justo antes del Mínimo de Maunder (M), en el medio del Mínimo de Dalton, en 1811, y en el máximo del ciclo solar 22, alrededor de 1990. SN es el número de Wolf de manchas solares observadas (línea de puntos), la línea sólida muestra el número SN filtrado mediante un algoritmo Savitsky-Golay pasa-bajos. Unidades físicas en unidades astronómicas, masas solares y días.

Las anomalías climáticas durante los Mínimos señalados son bien conocidas y también se ha sugerido que luego del ciclo 22 pueda ocurrir un nuevo mínimo como el de Maunder o Dalton [26]; de hecho luego del ciclo 22 se ha dado el período de actividad solar más baja de, por lo menos, la última centuria [27]. Particularmente se ha encontrado una clara correlación (estadísticamente significativa) entre el “torque” planetario (derivada del módulo del momento angular orbital del Sol) y la actividad solar alrededor del ciclo 22 (Fig. 2). Todas estas coincidencias fenomenológicas y otras provenientes de la aplicación de teoría de perturbaciones [25] sugieren una vinculación entre la dinámica solar y el clima terrestre. Respecto al forzante irregular y a pesar de ser éste un forzante ciertamente eventual respecto a

los restantes (externos e internos al planeta), disponer de modelos del forzante orbital y planetario posibilita naturalmente considerarlo en descripciones climáticas del pasado o futuras, y realizar simulaciones y experimentos numéricos en base al cálculo orbital de objetos cercanos a la Tierra u objetos lejanos con posibilidad de impactar en el planeta, especialmente en lo que respecta a la perturbación orbital de pequeños cuerpos debido a los planetas gigantes [28].

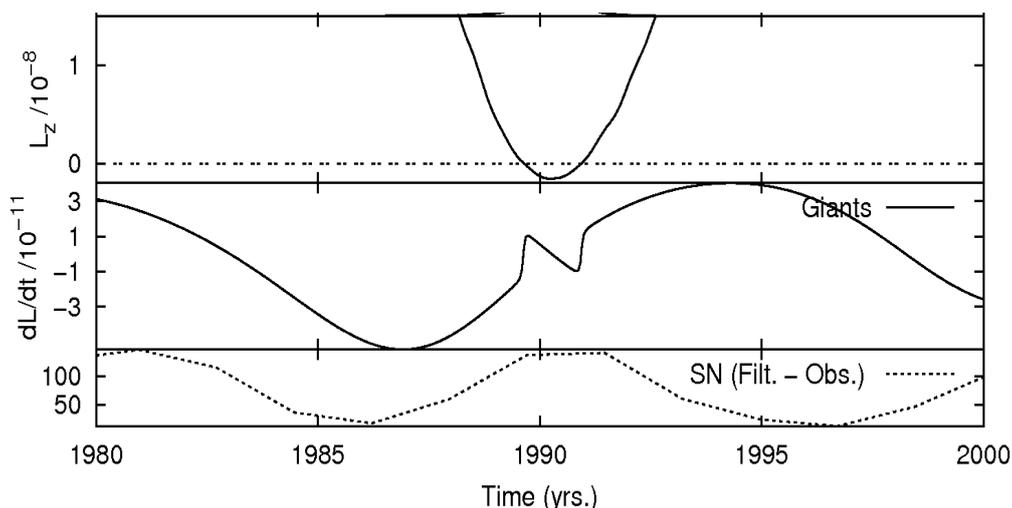


Fig. 2. Componente  $L_z$ , del momento angular orbital solar; “torque” planetario  $dL/dt$  (solo planetas gigantes) y número de manchas solares (SN) observadas y filtradas por el mismo método citado. Nótese la correlación-anti correlación entre  $dL/dt$  y SN antes y después del máximo del ciclo 22. Unidades físicas en unidades astronómicas, masas solares y días.

Por otra parte, se estará en condiciones de realizar estudios de particularidades climáticas de planetas en formación, o ya formados en medios “placentales” distintos al nuestro, lo cual proveerá de información sobre rasgos climáticos fundamentales del pasado o del futuro de nuestro planeta [29].

#### 4. CONCLUSIONES

En esta comunicación se ha presentado con la mayor concisión que ha sido posible las particularidades más salientes de los forzantes astronómicos sobre el clima terrestre, que no pueden soslayarse en estudios serios y completos de la variabilidad climática a lo largo del tiempo. La descripción y estudio de los forzantes externos al planeta es un tema complejo, fuertemente interdisciplinario, donde las soluciones deben buscarse en el campo numérico y las simulaciones por computadoras; y es aquí donde se concentrarán los esfuerzos respecto a las herramientas básicas de trabajo. Con la aprobación de este proyecto se tiene un marco formal para las colaboraciones que ya se vienen realizando en el modelado y análisis de datos de forzantes astronómicos del clima entre los integrantes del proyecto. En particular se han realizado importantes avances respecto al forzante planetario y su estudio con relación a los Grandes Mínimos y la actividad solar en general. Estos resultados sugieren una caracterización dinámica de eventos Grandes Mínimos y apoyan las hipótesis referentes a un nuevo e inminente mínimo prolongado, el cual deberá evaluarse en términos de los posibles

aumentos antropogénicos de temperatura planetaria.

El estudio de la variabilidad y el cambio del clima es uno de los temas más activos de la ciencia contemporánea. El trabajo realizado en el área será una contribución específica al conocimiento básico en estas cuestiones. Particularmente la UTN, a través de la FRSN, estará entre las instituciones nacionales que realizan aportes originales al más alto nivel en esta problemática.

Una respuesta adecuada ante las variaciones del clima, en campos diversos como el económico, social, tecnológico, etc., sólo se logra a partir del conocimiento fundamental de lo que ocurre y pueda ocurrir con el clima, y este proyecto será un aporte desde la UTN en ese sentido, generando núcleos de conocimientos y poniéndolos a disposición para las aplicaciones o transferencias tecnológicas pertinentes. LA UTN cuenta con varios Grupos de investigación sobre problemáticas de energía y medioambiente y carreras con materias afines al tema; por lo tanto, la sustanciación de este proyecto proveerá una conexión científica de primera mano en temas tan diversos como estudio del recurso solar en una zona o contribución a la mejora en la prognosis de eventos naturales, como por ejemplo, las referidas a las crecientes de los ríos más caudalosos del país. A partir de las actividades realizadas en el marco del proyecto, se prevén aportes concretos al medio académico y social en general, a través de cursos, conferencias, seminarios y charlas de todo nivel.

## REFERENCIAS

- [1] IPCC: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis of Climate Change, en: <http://ipccwg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>, (2007).
- [2] D. V. Hoyt y K. H. Schatten, *The Role of the Sun in the Climate Change*, Oxford Univ. Press, New York, (1997).
- [3] N. Scafetta, “Empirical analysis of the solar contribution to global mean air surface temperature change”, *J. Atm. and Solar-Terr. Phys.* Vol. 71, 1916-1923, (2009).
- [4] N. Scafetta “Empirical evidence for a celestial origin of the climate oscillations and its implications”, *J. Atm. and Solar-Terr. Phys.* Vol. 72, Issue 13, 951-970, (2010).
- [5] I. Charvátová y J. Strestik, “Periodicities between 6 and 16 years in surface air temperature in possible relation to solar inertial motion”, *J. Atm. and Solar-Terr. Phys.* Vol. 66, 219-227, (2004).
- [6] U. Cubasch, E. Zorita, F. Kaspar, J. F. Gonzalez-Rouco, H. von Storch y K. Prömmel, “Simulation of the role of solar and orbital forcing on climate”, *Advances in Space Research.* Vol. 37 (8), 1629-1634, 006, (2006).
- [7] L. J. Gray, J. Beer, M. Geller, J. D. Haigh, M. Lockwood, K. Matthes, U. Cubasch, D. Fleitmann, G. Harrison, L. Hood, J. Luterbacher, G. A. Meehl, D. Shindell, B. van Geel, y W. White, “Solar influences on climate”, *Rev. Geophys.* Vol. 48, RG4001, doi:10.1029/2009RG000282, (2010).
- [8] R. Ehrlich, “Solar resonant diffusion waves as a driver of terrestrial climate change”, *J. Atm. and Solar-Terr. Phys.* Vol. 69 (7), 759-766, (2007)
- [9] C. de Jager y S. Duhau, “Episodes of relative global warming”, *J. Atm. and Solar-Terr. Phys.* Vol. 198 (71), 194–198, (2009).
- [10] Marsh, N.D. y H. Svensmark, “Low cloud properties influenced by cosmic rays”,

- Physical Review Letters*. Vol. 85, 5004-5007, (2000).
- [11] R. G. Harrison y D. B., Stephenson, “Empirical evidence for a nonlinear effect of galactic cosmic rays on clouds”. *Proceedings of the Royal Society A*: 10.1098/rspa.2005.1628, (2006).
- [12] E. A. Agosta y P. B. Martin, “Fluctuaciones interanuales a multidecádicas de la temperatura de verano en el centro-oeste de Argentina y procesos atmosféricos/oceánicos/astronómicos globales”, *GEOACTA*. Vol 33, 53-63, (2008).
- [13] R. Compagnucci, y E. Tonni, “Climatic change of the Argentina in the last 1000 years. A multiproxy analysis”. *Reconstructing Past Regional Climate Variations in South America over the late Holocene*. International Symposium, Malargüe, Mendoza, (2006).
- [14] P. D. Jose, “Suns motion and Sunspots”, *Astronomical Journal*. Vol. 70, 193-200, (1965).
- [15] R. M. Wood y Wood, K. D., “Solar Motion and sunspot comparison”, *Nature*. Vol. 208, 129-131, (1965).
- [16] T. Landscheidt, “Cyclic distribution of energetic X-ray flares”, *Solar Physics*. Vol. 107 (1), 195-199, (1987).
- [17] R. Fairbridge, y J. Shirley, “Prolonged Minima and the 179 years of the solar inertial motion”, *Solar Physics*. Vol. 110, 191-220, (1987).
- [18] I. Charvátová, “Long-term predictive assessments of solar and geomagnetic activities made on the basis of the close similarity between the solar inertial motions in the intervals 1840-1905 and 1980-2045”, *New Astronomy*. Vol. 14, 25-30, (2009).
- [19] J. Javaraiah, “Sun’s retrograde motion and violation of even–odd cycle rule in sunspot activity”, *Mon. Noti. Royal Astron. Soc*. Vol. 362, 1311-1324, (2005).
- [20] S. Duhau y C. de Jager, “The Solar Dynamo and Its Phase Transitions during the Last Millennium”, *Solar Physics*. Vol. 250, 1-15, (2008).
- [21] J. Eddy, “The Maunder Minimum”, *Science*. Vol. 4245 (192), 1189-1202, (1976).
- [22] S.K. Solanki, I.G. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler, y J. Beer, “Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years”, *Nature*. Vol. 431, 1084-1087, (2004).
- [23] R. G. Cionco y R. H. Compagnucci, “A 3D study of Solar Inertial Motion”, *Eos Trans. American Geophysical Union*, 91(26), Meet. Am. Suppl., en prensa, (2010).
- [24] A. Zecca, y I., Chiari, “Comets and climate”, *J. Atm. and Solar-Terr. Phys*. Vol.71, 1766–1770, (2009).
- [25] R. G. Cionco y R. H. Compagnucci, “Dynamical characterization of the last gran minima events and the possible onset of a new solar minimum”, *ENVIADO a Planetary and Space Science Letters*, 13 pgs., (2011).
- [26] Livingston, W., and M. Penn, “Are sunspots different during this solar minimum?”, *Eos Trans. American Geophysical Union* Vol. 90(30), doi:10.1029/2009EO300001, (2009).
- [27] O. G. Badalyan, V. N. Obridko y J. Sykora, “Brightness of the Coronal Green Line and Prediction for Activity Cycles 23 and 24”, *Solar Physics*. Vol. 199, 421–435, (2001).
- [28] J. Horner, N. Evans, y W. Bailey, “Simulations of the population of Centaurs – II. Individual objects”. *Mon. Noti. Royal Astron. Soc*. Vol. 355 (2), 321-329, (2004).
- [29] D. Kitzmann, A. B. Patzer, C., von Paris, P., Godolt, M., Stracke, B., Gebauer, S.,

Grenfell, y H. Rauer, “Climatic effects of multi-layered clouds for Earth-like planets and implications for habitable zones”, *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 511, Art. 66, 14 pgs., (2010).

# MODELACIÓN REGIONAL DE INYECCIÓN DE AEROSOLES DE SULFATO PARA REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA GLOBAL EN FORMA ARTIFICIAL. CASO: REGIÓN DE CUYO.

Mulena, Gabriela C.\*<sup>1</sup>, Puliafito, Salvador E.<sup>1</sup> y Lakkis Gabriela S.<sup>2</sup>

1: Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente

Facultad Regional Mendoza

Universidad Tecnológica Nacional

Rodríguez 273. C.P. 5500. Mendoza

e-mail: celeste.mulena@gmail.com, epuliafito@frm.utn.edu.ar, web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

2: Programa para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Tecnológica Nacional

Mendoza (5500)

e-mail: gabyLakkis@uca.edu.ar;

web: <http://www.uca.edu.ar/index.php/site/index/es/universidad/investigacion/ucacyt/pepacg/>

**Palabras clave:** Geoingeniería Climática, Modificación Artificial del Clima, Inyección de Aerosoles, Volcanes, Modelación Regional, WRF.

**Resumen.** *Esta investigación está basada en el método de inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera baja, derivada de la geoingeniería climática. La técnica se fundamenta en los efectos provocados por las erupciones volcánicas y su objetivo es incrementar los niveles naturales de aerosoles de sulfato de manera artificial, causando un aumento en el albedo planetario y reduciendo la entrada de la radiación solar y, logrando la disminución de la temperatura media global. Hasta el momento los científicos se han abocado a la realización de estudios con modelo de circulación general, sin embargo, se cree importante poner a prueba esta técnica de geoingeniería bajo una visión local. En razón de ello, se propone desarrollar un modelo regional de inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera baja para reducción de la temperatura media global, elegir escenarios (regionales) ambientalmente sostenibles de siembra y con ellos estudiar los balances de los impactos positivos y negativos, como así también, la sensibilidad del área. La zona en estudio es la Región de Cuyo debido a presenta antecedentes de alta vulnerabilidad en sus ecosistemas y, por tanto, también podría ser susceptible al empleo de sulfatos estratosféricos. El modelo regional, WRF se utilizará para el estudio.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una creciente preocupación por parte del ambiente científico, y la sociedad en general, por evitar y mitigar las consecuencias del cambio climático. La evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [1] muestra que los indicadores inequívocos del cambio climático inducido por el hombre son cada vez más evidentes. Los debates actuales sobre políticas se centran en una reducción de las emisiones de carbono a través del aumento de la eficiencia energética y el cambio de combustibles fósiles por fuentes renovables de energía, como la eólica, solar, geotérmica y los biocombustibles, posiblemente,

complementado con el uso a gran escala de la energía nuclear. A falta de progresos visibles en la disminución de las emisiones, los científicos han comenzado a discutir enfoques de emergencia para mitigar el calentamiento planetario. Por esta razón, la geoingeniería está recibiendo una creciente atención.

La *geoingeniería* se define como toda aquella intervención humana intencional en el ambiente, a gran escala. La *escala* e *intención* juegan un rol central en la definición. Para que una acción sea considerada de geoingeniería, el cambio del ambiente debe ser el objetivo primario por sobre los efectos secundarios, y la intención y el efecto de la manipulación debe ser a gran escala, por ejemplo, a nivel continental o mundial [2]. Las manipulaciones no necesariamente deben estar dirigidas a cambiar el medio ambiente, también contemplan mantener un estado deseado del mismo frente a las perturbaciones, ya sean naturales o antropogénicas. Tres atributos esenciales sirven como indicadores de la geoingeniería: la escala, la intención, y el grado en que su acción es una medida compensatoria o una “solución técnica”. Podemos decir que la noción de modificación artificial del clima no es nueva. En este sentido, en la provincia de Mendoza, constan referencias del empleo de prácticas artificiales para modificación del clima, tal es el caso de la lucha antigranizo y la lucha contra las heladas<sup>3</sup>. De este modo, se puede pensar a la geoingeniería, como una extensión a mayor escala de los métodos de modificación artificial del clima. El primer uso del término geoingeniería, en el sentido anteriormente definido, fue utilizado por Marchetti en la década del '70 para describir la mitigación del impacto climático por la quema de combustibles fósiles mediante la inyección de dióxido de carbono en las profundidades oceánicas [3].

La geoingeniería ha sido usualmente aplicada a propuestas para manipular el medio ambiente con el objetivo de reducir el no deseado cambio climático causado por la influencia humana. Esta categoría se llama *geoingeniería climática* y su función da respuesta al problema del *dióxido de carbono* y el *clima*. Las principales técnicas de geoingeniería climática propuestas se engloban en dos áreas: 1) La captura de dióxido de carbón; 2) La gestión de la radiación solar. Ambos métodos, tienen el objetivo final de reducir la temperatura global, pero hay grandes diferencias en sus modos de acción, los plazos durante los cuales los resultados son efectivos, los efectos sobre la temperatura y otras consecuencias; de modo que ellos son; generalmente mejores considerados por separado.

Esta propuesta de trabajo se centra en las medidas de gestión de radiación solar, más precisamente, en el **método para inyectar gases precursores de aerosoles en la estratosfera** sugerido por Budyko [4, 5], Dickinson [6] y Crutzen [7]. La mayor parte de la discusión de la geoingeniería con aerosoles de sulfato se ha focalizado en el uso de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); sin embargo, otros precursores sulfatados, como el sulfuro de hidrógeno, sulfuro de carbonilo, y el sulfato de amonio, también podrían ser utilizados eventualmente. Cabe señalar que existen estudios en lo referente a inyección de aerosoles en la atmósfera; por ejemplo sobre aerosoles emitidos, en forma estacional, por la quema de biomasa [8].

El método de geoingeniería de la inyección de SO<sub>2</sub>, en la estratosfera, se basa en los efectos provocados por las erupciones volcánicas. Su objetivo es incrementar los niveles naturales de aerosoles de sulfato de manera artificial, causando un aumento en el albedo planetario y reduciendo la entrada de la radiación solar y, así mismo, lograr la disminución de la temperatura global [7, 9, 10, 11, 12, 13]. Las analogías entre las principales erupciones

<sup>3</sup> [www.contingencias.mendoza.gov.ar](http://www.contingencias.mendoza.gov.ar)

volcánicas y las inyecciones de  $\text{SO}_2$  en la atmósfera son aún imperfectas. Las primeras son esporádicas y sus impactos podrían sólo durar unos pocos años, mientras que la técnica de geoingeniería de siembra de sulfato en la estratosfera, requiere una constante inyección de sulfatos, por décadas o siglos, para equilibrar el aumento de los forzamientos radiativos por los gases de efecto invernadero.

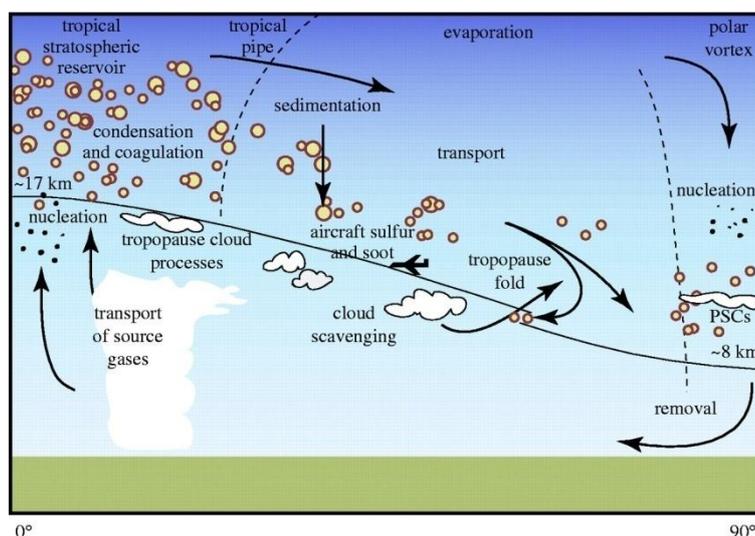


Figura 1. Esquema de [13] de los procesos que influyen el ciclo de vida de los aerosoles estratosféricos

La erupción del Monte Pinatubo en 1991, en Filipinas, es un ejemplo de inyecciones naturales de azufre en la atmósfera. Este acontecimiento, supuso un descenso en la cantidad de radiación con un correspondiente enfriamiento de entre  $0,5 - 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  en grandes zonas de la Tierra durante los años 1992 y 1993. Tras la erupción fueron identificados, además, variados impactos regionales por ejemplo: el fortalecimiento de la Oscilación del Atlántico Norte, uno de los modos de variabilidad climática más importante [14, 15, 16, 17, 18] una reducción significativa en el ozono estratosférico, con un nivel mundial cerca del 2% por debajo del valor esperado [19] y un decremento substancial en las precipitaciones sobre la tierra, con el correspondiente registro, de reducciones en la escorrentía y la descarga de los ríos [20]. Este fenómeno provocado por erupciones volcánicas también ha sido estudiado en menor escala, tal es el caso, del volcán “El Chichón” en México [21].

Existen numerosos procesos que requieren ser investigados, tal como la dinámica de intercambio estratosfera-troposfera, impulsada entre otros factores por el calentamiento de aerosoles en la estratosfera baja que afecta el vapor de agua estratosférico y el forzamiento radiativo [22]. Un mayor intercambio estratosfera-troposfera de aerosoles de sulfato reduciría también la vida útil de la capa de aerosol, requiriendo un aumento en las inyecciones para mantener un determinado valor de la profundidad óptica. Esto último, afecta el ciclo de reconstrucción y destrucción del ozono estratosférico. Tilmes et al. (2008) [23] sugieren que el agotamiento del ozono en el Ártico, tras la inyección de sulfato, podría ser mucho mayor y provocaría un retraso en la recuperación de la capa de ozono en la Antártida por tal vez, hasta 70 años [24, 25]. Varios estudios de modelos climáticos han explorado el impacto de una capa de sulfato estratosférico diseñada artificialmente [13, 26, 27, 28]. Caldeira y Wood (2008) [26] han considerado los impactos de la reducción de la entrada de radiación solar de 1.84%.

Dicha reducción podría ser generada por el método de inyección de aerosoles de sulfato u otro método de gestión de radiación solar. Los resultados mostraron, bajo ciertos escenarios idealizados, cambios en las temperaturas y las precipitaciones. Por su parte, Robock et al. (2008) [18], usando un modelo de circulación general (GCM), encontraron que las inyecciones de SO<sub>2</sub> para mejorar aerosoles estratosféricos modificarían los monzones de verano de Asia y África, reducirían las precipitaciones y, de este modo, afectarían potencialmente el suministro de comida a miles de personas.

También, la cantidad de depósito de azufre puede ser motivo de preocupación ya que los aerosoles de sulfato pueden hidratarse para formar ácido sulfúrico (componente de la lluvia ácida), conduciendo a un aumento de la deposición ácida con consecuencias ampliamente estudiadas en los ecosistemas [29, 30, 31, 32; 33]. Teniendo en cuenta este efecto, Kravitz B. et al. (2009) [34], utilizaron un modelo climático de circulación general de la Tierra para cuantificar la cantidad de deposición de SO<sub>2</sub> que podría resultar del empleo de la inyección de aerosoles de sulfato. Consideraron que el total de sulfato se hidrata y se transforma en ácido sulfúrico, el escenario A1B [1] y dos cantidades de inyecciones diferentes. El análisis de sus estudios determinó que la deposición adicional de sulfato no produciría un impacto negativo en la mayoría de los ecosistemas. Sin embargo, los autores de este trabajo científico, señalan que aunque aquel modelo fuese factible, la geoingeniería con aerosoles podría “conducir a resultados locales diferentes debido a la variabilidad de agua” en las diversas zonas geográficas.

Las experiencias mencionadas en párrafos anteriores plantean algunos interrogantes de investigación: a) Inyectando aerosoles de sulfato estratosféricos ¿Qué balances ambientales se obtendrían teniendo en cuenta la variabilidad en el clima, en los recursos naturales, en distribución geográfica, en los accidentes geográficos, y en las zonas de implementación?; b) Los escenarios idealizados: ¿son los apropiados?; c) Los resultados a los que se condujeron ¿tuvieron en cuenta una amplia gama de procesos de retroalimentación? y d) Las herramientas utilizadas ¿son las adecuadas? e) Los parámetros empleados ¿son los apropiados?

Un resumen de los efectos en la tierra provocados por la inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera se presenta en la Tabla 1. Como se puede apreciar en la Tabla 1, es de esperar que la experimentación a gran escala, con inyección de aerosoles de sulfato produzca cambios en los parámetros climáticos como la temperatura global (deseado), pero traigan aparejados distintos cambios en las condiciones del planeta, con consecuencias que redundan directamente en cambios regionales. Es decir, podrían percibirse grados de acidificación en los océanos y suelos [35]; variaciones en las precipitaciones, en la disponibilidad de agua, la vegetación natural, en la provisión de alimentos, en la salud y en los ecosistemas en general, que pueden actuar en forma diferenciada dependiendo de la zona de implementación. En particular, esta técnica podría influir en la Región de Cuyo dada su alta vulnerabilidad. Consecuentemente, el nivel de aquellas influencias, modificaciones y sus impactos necesitan ser convenientemente estudiados. En conclusión, la revisión del estado del arte de inyección de aerosoles de sulfato en la estratósfera baja: 1- Señala la necesidad de realizar contribuciones bajo una perspectiva mesoescalar mediante un modelo de escala regional; 2- Vislumbra que quizás diferentes metodologías (distintos escenarios, modelos, etc.) generen resultados disímiles; 3- Sugiere algunos importantes efectos que podrían resultar de su uso, los cuales, contrarrestarían o reforzarían los relacionados con el propio cambio climático; 4- Existen antecedentes locales de modificación artificial del clima (por ejemplo, el caso de la lucha antigranizo en Mendoza); 5- Indica que constan historiales de inyecciones de sulfatos en

forma natural y eventual (erupciones volcánicas); 6- Muestra la importancia de estudiar la sensibilidad y vulnerabilidad de la zona en estudio; 7- Revela la escasez de estudios que evidencien cuales serían los balances de impactos positivos y negativos provocados por la inyección de sulfatos estratosféricos.

<i>Efectos</i>	<i>Mecanismos</i>
<b>Efecto deseado con la inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera</b>	
Enfriamiento global – disminución de la temperatura global [7, 9, 10, 11, 12,13]	Bloqueo de la radiación solar.
<b>Efectos secundarios derivados de la inyección de aerosoles de sulfato estratosféricos</b>	
Reducción de las precipitaciones [20]	Bloqueo de la radiación solar, reducción de la evaporación.
Veranos fríos.	Bloqueo de la radiación solar.
Calentamiento estratosférico.	Absorción estratosférica de la radiación solar y terrestre.
Inviernos cálidos.	Absorción estratosférica de radiación solar y terrestre, dinámica.
Reducción del ciclo diurno.	Bloqueo de radiación solar y emisión de radiación del infrarrojo.
Destrucción del ozono (depleción del ozono) [19]	Dilución, química heterogénea de los aerosoles.
Incremento del albedo planetario [7, 9, 10, 11, 12, 13]	La cantidad de energía reflejada por una superficie.
Aumento de la radiación Ultravioleta – B (UVB), con implicancias médicas y biológicas.	Destrucción del ozono.
Perturbación del ciclo del azufre en la estratosfera en forma significativa. No sería importante la interferencia en el intercambio de azufre de la troposfera-estratosfera.	Inyección de aerosoles de sulfato.
Influencia en los ecosistemas. Por ejemplo, influencia de la interacción parásito-planta, disminución de los suministros de alimentos, etc. [28]	Bloqueo de radiación solar, cambios de la proporción entre la energía difusa y directa de llegada, etc.
Disminución de la visibilidad, aumento de la formación de nubes y nieblas, etc.	Bloqueo de radiación solar, formación de condensación de núcleos nubosos (en inglés cloud condensation nuclei o CCNs) que influyen el tamaño de las gotas de las nubes, la persistencia o tiempo de vida de las mismas (efectos indirectos del aerosol) y, por lo tanto, la reflectividad de aquellas.
Deposición de sulfatos en los suelos [35] y los océanos.	Acidificación.
Aumento de las lluvias ácidas [29, 30, 31, 32, 33, 34]	Hidratación de los aerosoles de sulfato.

Tabla 1. Efectos en la tierra de la inyección de aerosoles de sulfato en la atmósfera. Datos adaptados de Robock, 2000 [26].

## 2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La bibliografía consultada, como se dijo más arriba, muestra que hasta el momento los estudios numéricos realizados para cuantificar las derivaciones la inyección de aerosoles de sulfato estratosféricos, han sido conducidos hacia un enfoque de escala global [28, 34] de este modo se ha dejando de lado los potenciales efectos en la mesoescala. Sin embargo, se cree importante realizar investigaciones de inyección de aerosoles de sulfato estratosféricos con un modelo de escala regional. Estas representarían los primeros intentos para poner a prueba

esta propuesta particular de geoingeniería bajo una visión local. En razón de lo descripto, se propone en la región cuyana (Argentina) modelar la inyección de los aerosoles de sulfato para la estratósfera baja para reducir la temperatura media global, elegir escenarios (regionales) para la siembra de los mismos, investigar el impacto de cada escenario regional y también la sensibilidad de la zona de interés. El sitio elegido para el estudio es la Región de Cuyo, debido a que esta podría resultar un zona susceptible de inyectársele aerosoles de sulfato estratosféricos dada su marcada tendencia positiva de temperatura en los últimos años, tanto en el piedemonte como en el sector montañoso. Además, la región posee glaciares cordilleranos, que son altamente vulnerables a los cambios de temperaturas y a la modificación de los patrones de nevadas [37]. Por ejemplo, esta inyección podría impactar en el delicado régimen de precipitaciones y escorrentías, a través de la modificación de la microfísica de nubes, cambio del albedo en los glaciares, etc. La disponibilidad de agua de riego impactaría en los oasis del Oeste por la intensidad y concentración de sus actividades agrícolas, tal como la vitivinicultura. Sin embargo, si bien se pueden mencionar efectos potenciales aislados, no queda claro aún, cual sería; de inyectarse sulfatos en estratosfera baja en la región, el balance de impactos positivos (esperados por la reducción de la temperatura) y negativos. En vista del estado del arte de los modelos de mesoescala, se ha optado por utilizar el WRF (Weather Research Forecasting). WRF es un sistema de predicción numérica que permite simular procesos tales como transferencia radiativa, intercambios de agua superficie-atmósfera, calor latente, momento, transporte turbulento en la capa límite planetaria y microfísica de las nubes, tanto a escala sinóptica como a escala regional, con una resolución vertical adecuada para la troposfera alta y estratosfera baja. Este modelo ha sido producto de la colaboración de diversas instituciones, entre ellas el National Center of Atmospheric Research (NCAR), el National Center for Environmental Prediction (NCEP), el Forecast Systems Laboratory (FSL), la Air Force Weather Agency (AFWA), el Naval Research Laboratory, Oklahoma University y la Federal Aviation Administration (FAA). Actualmente, el grupo GEAA (Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales), está llevando a cabo la puesta en marcha de WRF para explorar la capacidad de modelar el transporte de aerosoles. Importante: No se descarta la posibilidad de emplear otros modelos del tipo WRF.

## 2.1. Hipótesis

La aplicación a gran escala de la técnica de geoingeniería basada en el método de inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera, si bien reduciría la temperatura media global; provocaría un impacto neto negativo en la región cuyana debido a la alta vulnerabilidad del ecosistema de dicha zona.

## 3. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo para alcanzar los objetivos de investigación puede resumirse en los siguientes puntos:

### 3.1. Evaluación de la situación actual del microclima cuyano: “Escenario sin geoingeniería”

En primer lugar, se realizará un estudio del escenario climático actual de la región cuyana tomando como fuente de datos las salidas del modelo numérico de predicción meteorológico

WRF. La simulación de dicho modelo permitiría avanzar en el conocimiento de los efectos de aerosoles sobre los procesos atmosféricos.

### **3.2. Evaluación y estudio de un caso eventual: “Escenario con inyección natural de aerosoles de sulfato”**

La segunda etapa, radicaré en buscar y evaluar algún evento natural de inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera baja, por ejemplo una erupción volcánica (El Chichón, Monte Pinatubo, u otro caso del que se tenga datos accesibles). Esto nos permitirá dimensionar el diseño artificial.

### **3.3. Diseño artificial.**

La cuarta etapa, consistirá en modelar la inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera baja. Esta etapa se centrará en estudiar la microfísica de aerosoles de sulfato. La caracterización de los aerosoles estratosféricos de sulfato implicará la especificación de la distribución espacio-temporal, composición química, especie o tipo de emisión de sulfato a inyectar, tamaño y morfología de las partículas, índice de refracción, concentración de los aerosoles, propiedades ópticas, vida útil y tiempos de residencia en la estratosfera, balance de energía, origen o fuente de los aerosoles, etc.

### **3.4. Selección de posibles casos de inyección artificial y simulación en WRF: “Escenarios con geoingeniería”**

Se basará en determinar diferentes escenarios regionales posibles para la inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera baja en Cuyo, de modo de poder evaluar luego los impactos ambientales. Los escenarios deberían incluir, entre otros parámetros altura, intensidad, frecuencia, distribución geográfica de las emisiones y costo energético de la inyección. Cada escenario será simulado en WRF.

### **3.5. Análisis de impacto ambiental para cada escenario (con geoingeniería) y la sensibilidad de la Región de Cuyo**

La evaluación de impacto ambiental para cada uno de los casos seleccionados anteriormente, permitirá identificar especialmente las regiones más vulnerables o susceptibles al cambio climático en la Región cuyana y a la utilización del método de geoingeniería por inyección de aerosoles de sulfato estratosféricos.

### **3.6. Verificación de datos**

Para monitorear la situación ambiental y el proceso de investigación en general, se compararán las salidas del modelo WRF con los datos extraídos de las fuentes satelitales disponibles. Esta información será complementada con la derivada de estaciones meteorológicas, y trabajos del GEAA-PEPACG. Los resultados se contrarrestarán con los procedidos de investigaciones recientes tales como Antuña et al, 1993 [21]; Crutzen, 2006 [7]; IPCC, 2007a [1]; Rasch et al, 2008 [13], entre otros. Además, se emplearán otros instrumentos de verificación de datos como indicadores físicos o biológicos. La comprobación de datos, será una constante en todo el estudio.

#### 4. INSTRUMENTOS. FUENTES Y MEDIOS DE VERIFICACIÓN DE DATOS

**Fuentes satelitales disponibles:** Se pueden mencionar, el OMI (Ozone Monitoring Instrument) que proporciona mediciones de componentes importantes de la calidad del aire incluyendo el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) derivado del instrumento AVHRR a bordo del satélite NOAA [38, 39, 40, 41].

**Datos extraídos de estudios realizados disponibles en la literatura reciente.**

**Mediciones de algún indicador a determinar** (indicador biológico, físico, etc.)

**Mediciones meteorológicas:** Duración de la insolación o brillo solar; Temperatura del aire, del agua y del suelo; Presión atmosférica; Humedad; Velocidad y dirección del viento; Cantidad de precipitaciones. La Provincia de Mendoza, cuenta con mediciones de precipitaciones a cargo de la Red de Contingencia Climática y el Instituto de Desarrollo Rural, de donde se podría extraer dicha información; Cantidad de evaporación. Los datos podrían ser obtenidos de estaciones meteorológicas; Radiación solar; Radiosondeos; Otras mediciones meteorológicas a tener en cuenta, si hubiesen datos disponibles, son la condensación de núcleos nubosos (Cloud condensation nuclei o CCNs), la altura de la base de las nubes troposféricas o estratosféricas, entre otras.

**Modelo climático de mesoescala WRF (Weather Research Forecasting).**

**Otras herramientas computacionales, a determinar en el proceso de investigación, etc.**

#### 5. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que los resultados obtenidos a partir del desarrollo del presente trabajo de investigación contribuyan a mejorar la teoría de fondo de la modificación artificial del clima y de la geoingeniería. También, los conocimientos derivados permitirán potenciar experimentos a pequeña escala de inyección de aerosoles de sulfato y dar lugar así a actividades interdisciplinarias.

Por otra parte, sus alcances serían primordiales para incentivar el diseño y aplicación de políticas climáticas, ya que proporcionarían una fuente de datos para el desarrollo de estrategias ambientales regionales. Complementariamente este estudio puede contribuir a conocer la influencia de las emisiones usadas en la lucha antigranizo como una experiencia de modificación artificial de la microfísica de nubes.

#### REFERENCIAS

- [1] IPCC, "IPCC. 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*" (2007).
- [2] Keith DW; "Geoengineering the climate: History and prospect", *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol. 25, pp. 245–284 (2000).
- [3] Marchetti C, "On geoengineering and the CO<sub>2</sub> problem", *Clim. Change*, Vol. 1, pp. 59–8, (1977).
- [4] Budyko MI, "*Climate and Life*", Academic Press, Vol. 508 (1974).
- [5] Budyko MI, "*Climatic Changes*", American Geophysical Union, Vol. 261 (1977).

- [6] Dickinson RE, “Climate engineering: A review of aerosol approaches to changing the global energy balance”, *Climatic Change*, Vol. 33, pp. 279-290 (1996).
- [7] Crutzen PJ, “Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: a contribution to resolve a policy dilemma?”, *Climatic Change*, Vol. 77, pp. 211–220 (2006).
- [8] Cattani E, Costa MJ., Torricella F., Levizzani V. y Silva AM, “Influence of aerosol particles from biomass burning on cloud microphysical properties and radiative forcing”, *Atmospheric Research*, Vol. 82, pp. 310 – 327 (2006).
- [9] Govindasamy B y Caldeira K, “Geoengineering Earth’s Radiation Balance to Mitigate CO<sub>2</sub>-Induced Climate Change”, *Geophysical Research*, Vol. 27, 2,141–144 (2000).
- [10] Govindasamy BG, Thompson S, Duffy P, Caldeira K y Delire C. “Impact of geoengineering schemes on the terrestrial biosphere”, *Geophysical Research*, Vol. 29, p. 2061 (2002).
- [11] Govindasamy B, Caldeira K y Duffy PB, “Geoengineering Earth’s radiation balance to mitigate climate change from a quadrupling of CO<sub>2</sub>”, *Global Planetary Change*, Vol. 37, pp. 157–168 (2003).
- [12] Wigley TML, “A combined mitigation /geoengineering approach to climate stabilization Science”, p. 314, pp. 452–454 (2006).
- [13] Rasch PJ, Tilmes S, Turco RP, Robock A, Oman L, Chen CC, Stenchikov L y Garcia RR, “An overview of geoengineering of climate using stratospheric sulphate aerosols”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 366, pp. 4007–4037 (2008).
- [14] Groisman PY, “Possible regional climate consequences of the Pinatubo eruption: an empirical approach”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 19, pp. 1603–1606 (1992).
- [15] Robock A y Mao J, Winter warming from large volcanic eruptions. *Geophysical Research Letter*, Vol. 19, pp. 2405–2408 (1992).
- [16] Robock A y Mao J. “The volcanic signal in surface temperature observations”, *Journal of Climate*, Vol. 8, pp. 1086–1103 (1995).
- [17] Graf HF, Kirchner I, Robock A y Schult I, “Pinatubo eruption winter climate effects: model versus observations”, *Climate Dynamics*, Vol. 9, pp. 81–93 (1993).
- [18] Kirchner I, Stenchikov GL, Graf HF, Robock A y Antuña JC, “Climate model simulation of winter warming, summer cooling following the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, pp. 19039–19055 (1999).
- [19] Harris NRP, Ancellet G, Bishop L, Hofmann DJ, Kerr JB, McPeters RD, Prendez M, Randel W, Staehelin J, Subbaraya BH, Volz-Thomas A, Zawodny J y Zerefos CS, “Trends in Stratospheric and Tropospheric Ozone”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, pp. 1571–1590 (1997).
- [20] Trenberth KE y Dai A, “Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analog of geoengineering”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 34 (2007).
- [21] Antuña JC, Pérez I y Marín D, “Efecto de los aerosoles estratosféricos de la erupción de El Chichón sobre la temperatura en superficie para el PMC”. *Atmósfera*, Vol. 7, pp. 241-247. (1994).
- [22] Joshi MM y Shine KP, “A GCM study of volcanic eruptions as a cause of increased stratospheric water vapour”, *Journal of Climate*, Vol. 16, pp. 3525–3534 (2003).
- [23] Tilmes S, Müller R y Salawitch R, “The sensitivity of polar ozone depletion to proposed geo-engineering schemes”, *Science*, Vol. 320, pp. 1201–1204 (2008).
- [24] Baldwin M, Hirooka T, O'Neill A, Yoden S, Charlton AJ, Hio Y, Lahoz WA y Mori A. “Major Stratospheric Warming in the Southern Hemisphere in 2002: dynamical Aspects of the Ozone Hole Split”. SPARC Newsletter Vol. 20, pp. 24–26, (2003).
- [25] Shaw TA y Shepherd TG, “Raising the roof”, *Nature Geoscience*, Vol. 1, pp. 12–13 (2008).
- [26] Caldeira K y Wood L, “Global and Arctic climate engineering: numerical model studies”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 366, pp. 4039–4056 (2008).
- [27] Rasch PJ, Crutzen PJ y Coleman DB, “Exploring the geoengineering of climate using stratospheric sulfate aerosols: The role of particle size”, *Geophysical Research Letters*, Vol.35

- (2008).
- [28] Robock A, Oman L y Stenchikov GL. Regional climate responses to geoengineering with tropical and Arctic SO<sub>2</sub> injections. *Journal of Geophysical Research* 113 (2008).
- [29] Leivestad H y Muniz IP. “Fish kill at low pH in a Norwegian river”, *Nature*, Vol. 259, pp. 391-392 (1976).
- [30] Wood T y Bormann FH. “Increases in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist”, *Ambio*, Vol. 4, pp. 169-171 (1975).
- [31] Shriner, DS. “Effects of simulated rain acidified with sulfuric acid on host-parasite interactions”. *Water, Air, y Soil Pollution*. Vol. 8, pp. 9-14 (1977).
- [32] Rao SS, y Dutka BJ. “Influence of acid precipitation on bacterial populations in lakes”, *Hydrobiologia*, Vol. 98, pp. 153-157 (1983).
- [33] Graveland J. “Effects of acid rain on bird populations”. *Environ. Rev*, Vol. 6, pp. 41-54. (1998).
- [34] Kravitz B, Robock A, Oman L., Stenchikov G. y Marquardt AB. “Sulfuric acid deposition from stratospheric geoengineering with sulfate aerosols”. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 114 (2009).
- [35] Civit B, Arena AP y Puliafito SP. “Factores de acidificación de para la región árida centro oeste Argentina”. Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería, Mendoza. (2005).
- [36] Robock A, “Volcanics Eruptions and Climate”, *Reviews of Geophysics*, Vol. 38, pp. 191-219 (2000).
- [37] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina: Informe sobre “El Cambio Climático en Argentina”, (2009).
- [38] Ackerman SA, Schreiner AJ, Schmit TJ, Woolf H, Jun Li y Pavolonis M, “Using the GOES Sounder to monitor upper level SO<sub>2</sub> from volcanic eruptions”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113 (2008).
- [39] Kristiansen NI, Stohl A, Prata AJ, Richter A, Eckhardt S, Seibert P, Hoffmann A, Ritter C, Bitar L, Duck TJ y Stebel K, “Remote sensing and inverse transport modeling of the Kasatochi eruption sulfur dioxide cloud”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115 (2010).
- [40] Randall VM, “Review: Satellite remote sensing of surface air quality. *Atmospheric Environment*”, Elsevier, Vol. 42, pp. 7823–7843 (2008).
- [41] Schneider DJ, Rose WI, Coke LR y Bluth Gregg JS, “Early evolution of a stratospheric volcanic eruption clouds observed with TOMS and AVHRR”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 114, pp. 4037-4050 (1999).

## ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FORMACIÓN DE NUBES Y PRECIPITACIONES EN LA REGIÓN EXPERIMENTAL DEL PROYECTO PRECIPITA.

Pérez<sup>1</sup>, Raúl y Delio<sup>2</sup>, Daniel

1: Laboratorio de Investigaciones Hidrodinámicas, Atmosféricas y Nubes para Desarrollos Operativos. (LIHANDO). Centro de Estudios para Desarrollos Sustentables (CEDS). Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional. Rodríguez 273, Mendoza. e-mail: rcperez@frm.utn.edu.ar. rcperezi@gmail.com

2: Servicio Meteorológico Nacional. Aeropuerto Francisco Gabrielli. El Plumerillo. Las Heras. Mendoza.

- **Palabras clave:** Modificación Artificial Clima Precipitaciones.

**Resumen.** *Uno de los impactos más preocupantes del cambio climático es la modificación de los regímenes de precipitación en las diferentes regiones del mundo, su consecuencia es la variación de la cantidad de agua proveniente de ellas, ya sea por defecto o por exceso. El proyecto ha emprendido una serie de actividades en orden a realizar investigación científica aplicada a los desarrollos de metodologías y tecnologías en la modificación artificial benéfica de los fenómenos meteorológicos y climáticos. Los objetivos son desarrollar nuevos conocimientos que permitan implementar programas operativos que permitan intervenir y modificar los procesos atmosféricos que producen impactos dañinos severos sobre las diferentes actividades humanas, buscando su mitigación o transformación en benéficos. Actualmente se encuentra en ejecución el proyecto PRECIPITA, para incrementar precipitaciones en las zonas desérticas o aquellas regiones que sufran contingencias eventuales de sequías. Se ha elegido como metodología de trabajo la siembra de nubes con CCN. Se intenta desarrollar reservorios sustentables de agua en las regiones desérticas, adaptando las metodologías de incremento en precipitaciones que se utilizan hace casi cincuenta años en el mundo, a las características particulares de la atmósfera y orografía de la zona de trabajo. Las actividades consisten en intervenir artificialmente en los procesos de formación de partículas de nubes o precipitaciones incrementándolas o disminuyéndolas, según sea más beneficioso su impacto.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Existe un reclamo y preocupación constante en la sociedad por los frecuentes episodios de cambio en los regímenes de precipitaciones debido al cambio climático o a la actividad antropogénica. Las precipitaciones necesarias para el desarrollo social y económico no siempre son suficientes, y en algunas oportunidades resultan excesivos, esto puede agravarse según el escenario climático actual.

Para dar una solución a esta situación, la metodología más aceptada por la comunidad científica internacional –especialmente por la Organización Meteorológica Mundial (WMO)- es el incremento de precipitaciones (lluvias o nieve en alta montaña) por siembra de nubes, un

tema que está muy poco divulgado y comprendido por el público en general y escasamente difundido en institutos de enseñanza.

El proyecto PRECIPITA está desarrollando un programa de incremento de precipitaciones en zonas desérticas o que sufren eventos de sequía en la Provincia de Mendoza, utilizando la metodología mencionada. Se ha tomado las mejores experiencias operativas internacionales en la temática, como la de Texas en Estados Unidos, y se la está adaptando a las características de la región de aplicación, con la finalidad de llevar adelante un programa operativo eficiente adecuado a las características geofísicas de la zona.

En estos momentos se ha finalizado la primera etapa del proyecto, cuyo objetivo es caracterizar la región de la experiencia, para adaptar la metodología de siembra de nubes a las características de la región. Los resultados obtenidos durante este período son los que se muestran en el presente trabajo.

Se ha comenzado la segunda etapa del proyecto, en el cual se realizarán operaciones de siembra de nubes a partir de los parámetros obtenidos en la primera etapa, con la finalidad de ajustar las operaciones y poder comenzar la tercera donde se aplicara el método ya adecuada y se evaluará su eficiencia.

## 2. MARCO TEÓRICO

El agua está siempre presente en la atmósfera, y en valores prácticamente constantes, en forma de vapor de agua en el aire. Este gas puede llegar a representar, en zonas húmedas, hasta el 4% del total de gases de la atmósfera. A su vez, el aire caliente tiene mayor capacidad de absorber vapor de agua que el aire frío, por lo tanto, cuando el aire caliente y húmedo asciende y se enfría, disminuye su capacidad de almacenar agua, por lo que el vapor se condensa y se transforma en agua líquida, formando nubes.

Para que ocurra la condensación es necesario que existan pequeñas partículas sólidas, denominadas núcleos de condensación de nubes (CCN), a partir de las cuales se forman las gotas. Cuando dichas gotas llegan a tener un tamaño determinado precipitan, generando la lluvia. También pueden producirse a partir de la formación de cristales de hielo que forman los copos de nieve, que pueden precipitar como tales o, en algunos casos, al atravesar zonas de aire caliente, se derriten y caen a la superficie como lluvia.

Las gotas de nubes jamás se forman por nucleación homogénea [1], siempre lo hacen a partir de la deposición de las moléculas de vapor de agua sobre una partícula sólida (nucleación heterogénea). Estos núcleos sólidos de formación de gotas de nubes (CCN) juegan un rol fundamental en la formación de las precipitaciones en la nube.

Otra cuestión importante en los procesos de precipitación los constituye el hecho de que una vez formada la gota por el mecanismo expuesto, dentro de la nube se encuentra presente la influencia de dos procesos: el de *crecimiento* por agregación de más vapor de agua y por colisión con otras gotas; y el de *evaporación* por el descenso de la precipitación a isothermas más cálidas. Según el proceso que “triunfe”, la gota de precipitación llegará al suelo o no.

El dominio de uno de estos procesos sobre la situación depende del tamaño inicial con que se formó la gota. Existe un valor del radio con que se forma una gota esférica de nube que se conoce como *radio crítico* ( $R_c$ ), que representa un umbral para que la precipitación llegue al suelo: si la gota inicialmente tiene un radio menor a  $R_c$ , entonces los procesos de evaporación

se impondrán sobre los de crecimiento y la precipitación no llegará al suelo; por el contrario, si el radio de la gota inicialmente es mayor a  $R_c$  las gotas llegarán al suelo dando lugar a una precipitación. El valor del radio crítico depende de la temperatura y la presión de vapor del aire atmosférico, por lo que su valor varía día a día para cada región, según las condiciones termodinámicas imperantes en la atmósfera en esa jornada. Este es un punto sumamente importante a tener en cuenta cuando se realizan operaciones de siembra, porque según el tamaño de núcleo de condensación (CCN) que se esté empleando se incrementará o disminuirá la cantidad de precipitación.

La siembra de nubes consiste en sembrar dichos núcleos de condensación en determinados lugares, y en determinadas circunstancias, para incrementar o disminuir el crecimiento de las gotas y/o de los cristales de hielo en las nubes a sembrar, dependiendo del efecto que se desee producir. Normalmente se utiliza una red de generadores terrestres o aviones de acuerdo con la altura a que se deba sembrar para liberar partículas de yoduro de plata u otro tipo de CCN, que sea eficiente con este fin.

Operativamente, el lugar, modo, cantidad y momento en que se debe sembrar para modificar en forma benéfica los procesos de precipitación de una nube varían día a día en una misma zona, puesto que depende de varios factores atmosféricos de ese momento: temperatura, punto de rocío, valor y altura de relación de mezcla de vapor de agua, presión de vapor, intensidad y dirección del viento a esa altura, etc. Por esto es necesario poder contar con instrumentación adecuada para censar estos valores con la mayor continuidad posible.

### 3. EQUIPAMIENTO Y METODOLOGÍA

El equipamiento mínimo necesario para llevar adelante operaciones de siembra de nubes son: radiosondeos diarios, imágenes meteorológicas satelitales on-line en todas las bandas útiles, radares meteorológicos equipados con sistema informático como el TITAN. También es aconsejable conseguir los radares de efecto Doppler y polarizados. Por supuesto, es imprescindible contar con el material químico de siembra y un vehículo para llevarlo a la zona de la nube deseada (avión, cohete, generadores de superficie, etc.). Para poder alcanzar la eficiencia en estas operaciones, todos estos elementos mencionados, más el conocimiento profundo de los especialistas en las diferentes temáticas que se abordan en el programa, deben integrarse en una sinergia única.

En las zonas montañosas, como en la región de Cuyo, en promedio el 20% del total de vapor de agua que está en la atmósfera sobre las montañas se condensará naturalmente. El otro 80% de la humedad permanece sin condensarse, porque el aire que la contiene nunca alcanza a enfriarse lo suficiente para completar la condensación total. Las tormentas de invierno son *eficientes* en este sentido en aproximadamente un 30%, por lo que del total de vapor de agua existente algo más de un 6% termina precipitando naturalmente (ver figura 1).

Si la siembra de nubes es eficiente incrementando la precipitación natural en un 15%, este porcentaje representa un 0,9% (es decir, el 15% del 6%) más de vapor de agua atmosférico que puede ser precipitado cuando se realiza la siembra de nubes (2).

Este porcentaje constituye una ínfima parte del agua en el ciclo hidrológico, pero además, no toda la atmósfera fue sembrada, ni las operaciones de siembra de nubes se realizan

continuamente. De este modo, el efecto neto de la siembra de nubes sobre el disponible de vapor de agua atmosférico es solamente una pequeña fracción del 0,9% mencionado precedentemente.

Estos incrementos en la precipitación a través de métodos artificiales son posibles porque la atmósfera, como un sistema integral, convierte solamente muy poco del total de su humedad en precipitación.

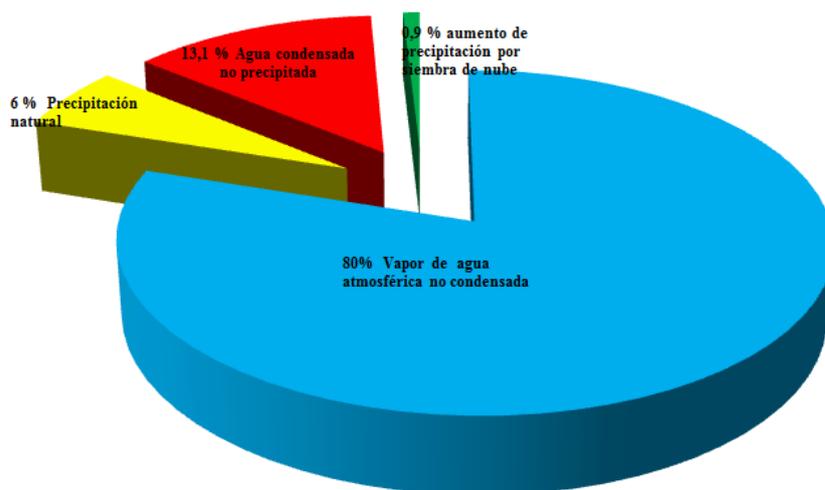


Figura 1. Gráfico-torta con la distribución de vapor de agua atmosférico cuando la siembra de nubes resulta en un 15% de incremento de la precipitación y cuando la tormenta es naturalmente eficiente en un 30%. En todos los casos, un 80% del vapor de agua atmosférico permanece sin condensarse (celeste). Del remanente 20% (Amarillo, rojo y verde), 6% cae como precipitación natural (amarillo). Si la siembra de nubes incrementa la precipitación natural en un 15%, el cambio neto es solamente de un 0.9% (verde), y así la humedad no se “pierde”, sino que permanece disponible en la atmósfera, en los procesos de evaporación, sublimación, y transpiración.

La siembra de nubes no implica alteración de los parámetros meteorológicos en gran escala, como comúnmente suele creerse, sino que se trata de cambiar la estructura microfísica de algunas nubes, y en algunos casos su termodinámica, sin modificar los lugares de formación de nubes, su desplazamiento o donde se disipan, con el objetivo de lograr una mayor precipitación en un lugar determinado.

En los últimos 40 años se han llevado a cabo en todo el mundo numerosos programas operativos de siembra de nubes con el objeto de aumentar la cantidad de precipitaciones para proveer agua adicional a empresas hidroeléctricas, municipios o también para obtener mayor acumulación de nieve en centros de esquí.

### 3.1 Proyecto PRECIPITA

El Laboratorio de Investigaciones Hidrodinámicas, Atmosféricas y de Nubes para Desarrollos Operativos (LIHANDO), pertenecientes al Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable (CEDS), de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN)

está ejecutando en el departamento de San Martín en Mendoza el proyecto: **Re-ingeniería de los Estudios Climáticos para Incrementar Precipitaciones por Técnicas Artificiales. (PRECIPITA).**

En este proyecto, la operación de siembra se inicia cuando los pronósticos indican que las nubes que contienen agua líquida suficiente, pasarán sobre el área de siembra elegida. El objetivo es interceptar las nubes apropiadas con concentraciones de yoduro de plata u otro CCN apropiado. Es crítico que la siembra se realice en el momento adecuado y seleccionar los parámetros operativos correctos, que permitan la interceptación de la nube con el rastro de CCN para lograr modificar la cantidad de precipitación caída en forma benéfica eficientemente.

Si bien, el proyecto comenzó sus actividades oficialmente el 01 de diciembre de 2010, al conocerse la aprobación del mismo por parte del MINCYT, se decidió comenzar a recolectar datos atmosféricos con la finalidad de caracterizar la atmósfera y los procesos de formación de nubes y precipitación de la región de la experiencia dos años antes, en el año 2008.

### **3.2 Fuentes de datos**

#### *Radiosondeos:*

Los datos verticales meteorológicos y físicos de la atmósfera están disponibles en las mediciones realizadas por los radiosondeos. Los datos obtenidos de esta fuente fueron correlacionados con el tipo de nube y situación de precipitación ocurrida para cada día en particular.

Esta información permitió caracterizar la atmósfera, y de así poder inferir si la situación meteorológica es apta para realizar operaciones de siembra de nubes con la finalidad de incrementar su precipitación.

Durante las tareas de estudios de caracterización se han utilizados estos datos buscado desarrollar índices, parámetros, umbrales y modelos que permitan inferir los días aptos para realizar las actividades mencionadas.

#### *Imágenes Satelitales:*

Otra serie de datos importantes en orden a poder caracterizar la atmósfera y los procesos de formación de nubes y precipitación de la zona experimental del proyecto; son las imágenes satelitales en las diferentes bandas de frecuencias, esta información fue utilizada principalmente para tipificar las nubes y las condiciones atmosféricas correlacionándolas con el radiosondeo del día.

#### *Modelo WRF.*

El modelo WRF permite simular la posible dirección de vientos en la atmósfera. Esta información sirve para asesorar la toma de decisiones durante las operaciones de siembra, fundamentalmente sobre la posición en donde iniciar el encendido de las bengalas en función de la dirección e intensidad del viento en la región.

### Sistema TITAN

Este programa procesa la señal recibida del radar meteorológico y del posicionamiento de la aeronave mediante radio frecuencias y las presenta en pantalla en tiempo real para ser utilizadas por el personal de operaciones que trabaja en la sala de comando asesorando en la toma de decisiones. Un ejemplo de la información presentada en pantalla se puede observar en la imagen de la figura 2 de abajo.

La información presentada en pantalla por el sistema TITAN es actualizada cada cinco minutos, tiempo que demora el radar en recoger toda la información completa.

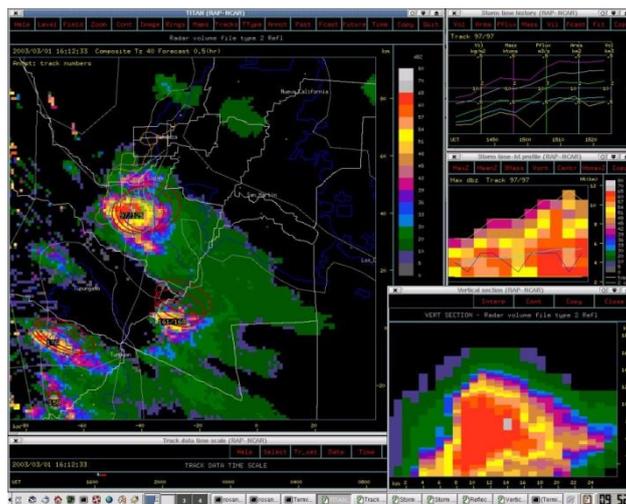


Figura 2. Imagen de la presentación en pantalla de un sistema nuboso adquirido por un radar meteorológico y procesada por el sistema informático TITAN.

## 4. RESULTADOS OBTENIDOS

Como se ha expuesto, se recolectaron datos durante los años 2009, 2010 y 2011 con el objetivo de concretar de la mejor forma la realización de la primera etapa de caracterización del proyecto. Desde el inicio formal del proyecto, se comenzaron los estudios de caracterización, tratando de relacionar y correlacionar entre sí la información recolectada, específicamente se agruparon los datos de cada día en tres conjuntos diferentes: días con pocas nubes o sin ellas a las que se les asignó el valor 0 (cero), días muy nublados (asignando el valor 1) y días en que precipitó lluvia (asociado con valor 2).

El primer resultado importante obtenido fue el diferente comportamiento observado en los procesos de formación de nubes y precipitaciones para las distintas épocas del año; este hecho se puede sintetizar clasificando los fenómenos como pertenecientes a dos épocas bien diferenciadas por el desarrollo de sus procesos: otoño-invierno (desde el 21 de setiembre hasta el 21 de marzo) y primavera-verano (el resto del tiempo). Los resultados se muestran en la Tabla 1, de la que se pueden extraer algunas conclusiones interesantes:

- El porcentaje de días nublados se mantiene aproximadamente constante a lo largo de todo el año, con un valor medio del 26% de los días, independiente de la estación de año estudiada.

- En las estaciones de primavera-verano el porcentaje de días secos y días lluviosos son prácticamente iguales y altos, lo que indicaría que durante estos períodos del año la necesidad de lluvias no sería tan crítica para la región.
- En oposición al caso anterior, durante las estaciones otoño-invierno se observa una gran disminución de la cantidad de días lluviosos respecto al número de días secos.

Días	Secos	% Parcial	nublados	% Parcial	lluviosos	% Parcial	Totales
otoño-invierno	42	58,33	19	26,39	11	15,28	72
primavera-verano	45	38,14	30	25,42	43	36,44	118
Totales	87	45,79	49	25,79	54	28,42	190

Tabla 1: Cantidad de días y sus porcentajes de sus diferentes tipos de procesos de formación de nubes y precipitaciones a lo largo del año 2010.

Puede observarse en la Tabla 1 que sólo en el 15% de los días de estos períodos se contabilizaron precipitaciones. Esto revela que en la zona de experiencia, los meses que comprenden al otoño y el invierno son los que deben requerir el esfuerzo de nuestro trabajo. Un segundo estudio más profundo se realizó a partir de los datos obtenidos mediante el radiosondeo. Se buscó desarrollar un modelo de regresión multivariada que permitiera objetivamente asesorar sobre cuáles son los días aptos para realizar las operaciones de siembra de nubes para incrementar las precipitaciones.

Partiendo de la base conceptual y teórica que “la materia prima” para formar nubes y precipitaciones es el vapor de agua existente en el aire atmosférico, se utilizó como elemento principal de estudio la razón de mezcla, magnitud que representa el valor de los gramos de vapor de agua por kilogramo de aire atmosférico. En particular, se buscó en el radiosondeo diario la capa de mayor humedad, correspondiente al nivel de altura de la atmósfera donde la relación de mezcla es máxima. Los valores de todas las variables de este nivel, fueron correlacionados con el fenómeno de precipitación, cielo nublado o días secos.

Los resultados obtenidos se exponen a continuación en la Tabla 2. En primer lugar se correlacionó la variable altura  $h$  en metros, de la capa de relación de mezcla máxima con el evento de precipitación, por medio de una aproximación polinómica y se obtuvo el siguiente modelo:

$$\text{Precipitación} = 8,77163 - 0,0189481 \cdot h + 0,000012136 \cdot h^2 - 2,28472 \cdot 10^{-9} \cdot h^3 \quad (1)$$

El resultado muestra que el modelo polinomial de tercer orden satisface la descripción de la relación existente entre la precipitación y la altura de la relación máxima de mezcla en la atmósfera.

Variable dependiente: precipitación

Estimador Estadístico: T

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	P-Value
constante	8,77163	1,96345	4,46746	0,0001
h	-0,0189481	0,00456777	-4,14821	0,0002
h <sup>2</sup>	0,000012136	0,00000311818	3,892	0,0005
h <sup>3</sup>	-2,28472E-9	6,47433E-10	-3,52889	0,0013

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	Df	cuadrado medio	F-Ratio	P-Value
Modelo	8,5622	3	2,85407	7,26	0,0008
Residuos	12,1807	31	0,392924		
Total	20,7429	4			

R-cuadrado	41,2778 %
R- cuadrado (ajustado por d.f.)	35,595 %
Error estándar de Est.	0,626837
Error medio absoluto	0,457841
Estadístico de Durbin-Watson	0,583429

Tabla 2: Resultados estadísticos para la variable precipitación en función de la altura

Como se puede observar, el p-value en el análisis ANOVA es menor a 0,01, lo que muestra que la relación funcional entre la precipitación y la altura h del nivel de máxima relación de mezcla es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 99%.

Finalmente se correlacionó la situación de precipitación con el resto de las variables del nivel de la razón de mezcla máxima, mediante regresión multivariada. Del valor de todas las variables obtenidas por medio del radiosondeo, sólo la temperatura T registrada en ese nivel, la dirección del viento Dv y su espesor Δy, presentaron correlación importante con el fenómeno. El resultado de este estudio se detalla a continuación en la Tabla 3.

El resultado muestra que el modelo de regresión múltiple describe satisfactoriamente la relación existente entre la variable dependiente precipitación y las 3 variables independientes T, Dv y Δy; y la ecuación correspondiente es:

$$\text{Precipitación} = -0,00221455.Dv + 0,000225739. \Delta y + 0,0397722.T \quad (2)$$

Puesto que el valor del p-value del modelo mostrado en la tabla de ANOVA es menor que 0,01; se puede concluir que el resultado obtenido es estadísticamente significativo en un nivel de confianza del 99 %.

*Variable dependiente: precipitación*

Estimador Estadístico: T

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	P-Value
Dv	-0,00221455	0,00097811	-2,26411	0,0275
$\Delta y$	0,000225739	0,0000557426	4,04968	0,0002
T	0,0397722	0,0163977	2,42548	0,0186

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	Df	cuadrado medio	F-Ratio	P-Value
Modelo	91,381	3	30,4603	56,56	0,0000
Residuos	29,619	55	0,538528		
Total	121,0	58			

R-cuadrado	75,5215 %
R-cuadrado (ajustado por d.f.)	74,6313 %
Error estándar de Est.	0,733844
Error medio absoluto	0,600722
Estadístico Durbin-Watson	0,260275

Tabla 3: Resultados estadísticos para la variable precipitación en función de otras variables.

En síntesis, hemos desarrollado dos modelos a partir de los radiosondeos del día que asesorarán al equipo científico y operativo en pronósticos y tomas de decisiones en las tareas operativas de siembra de nubes.

Un resultado importante e interesante que se puede observar en el anexo I, es que la altura de la capa de máxima relación de mezcla, que es la óptima para sembrar, durante las estaciones de otoño e invierno oscila aproximadamente entre 700 m y 2100 m de altura. Este hecho implica que es factible, sin perder eficacia, reemplazar la metodología de siembra de nubes con aviones por la utilización de árboles de bengalas quemando el reactivo químico desde el nivel de suelo en lugar de utilizar los costosos vuelos de aviones. Esta afirmación es reforzada cuando se tiene en cuenta que la altura media de la zona de la experiencia es de 700 metros sobre el nivel del mar, esto implica que en numerosas ocasiones el generador en superficie estará prácticamente a la misma altura de la capa atmosférica que contiene la máxima humedad y que es objeto de la siembra.

## 5. REFERENCIAS:

[1] Houze, Robert A. Jr. "Cloud Dynamics" International Geophysics Series. Vol. 53. Página 70. Academic Press Inc. Año 1993.



## MONITOREO DEL RUIDO AUDIBLE EN LA CIUDAD DE SANTA FE

Zóttico, Andrés<sup>1\*</sup>; Acosta, Dana<sup>1</sup> y Manassero, Ulises<sup>1</sup>

1: Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavaisse 610, CP S3004EWB

e-mail: [andres\\_pgz@hotmail.com](mailto:andres_pgz@hotmail.com), [dacosta81@gmail.com](mailto:dacosta81@gmail.com), [ulisesmanassero@hotmail.com](mailto:ulisesmanassero@hotmail.com)

**Palabras clave:** Contaminación acústica, Ruido, Ciudad

**Resumen.** *Desde siempre, el ruido ha sido un problema ambiental. La presencia de ruidos no deseados en un ambiente laboral o doméstico, provoca trastornos a las personas expuestas durante ciertos periodos de tiempo. La sociedad moderna ha incorporado una multiplicidad de fuentes generadoras de este contaminante.*

*En este trabajo se identificaron las zonas de contaminación acústica más comprometidas de la ciudad de Santa Fe, para luego establecer una clasificación de los diferentes sitios en función a los niveles de contaminación sonora.*

*Para ello, se realizó un plan de mediciones con el objeto de registrar los niveles de ruido, en zonas de la ciudad con diferentes tipos de actividades (residenciales, industriales – principalmente metalúrgicas-, y comerciales).*

*Los resultados de estas mediciones permitieron conocer el grado de contaminación acústica de zonas puntuales de la ciudad, evaluar los valores obtenidos con los máximos permisibles por las normativas vigentes en el tema y realizar un análisis comparativo de carácter cuantitativo con los niveles de ruido registrados en las diferentes zonas, de modo de conocer qué tipo de zona es la más conflictiva de la ciudad y por ende, que aporta mayor contaminación acústica.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica es uno de los mayores problemas ambientales en los centros urbanos, afectando de modo sustancial el comportamiento humano tanto productivo como de la salud [1]. Actualmente, se encuentran bien documentados los efectos adversos del ruido tales como perturbación del sueño y la interferencia del habla [2, 3].

Los niveles sonoros excesivos también pueden tener un impacto nocivo en el ecosistema aledaño. Por ejemplo, puede provocar la migración inducida del hábitat original de ciertas especies animales o también alterar su comportamiento biológico [4]. Varios factores interfieren con la cantidad de ruido de polución a través de la ciudad. Entre ellos, y como uno de los más importantes, es el ruido del tráfico.

Un reto importante es la cuantificación de los efectos del ruido sobre la población. No sólo los altos niveles deben ser evaluados, sino también la cantidad de personas expuestas a ellos es de

gran importancia. Esta labor está lejos de ser evidente ya que la propagación del sonido se ve afectada por muchas características ambientales de naturaleza distinta. La topología de los edificios y la topografía pueden crear zonas de silencio [5].

De acuerdo al libro verde de la Unión Europea (UE) “el ruido ambiental, causado por actividades recreativas, el tráfico automotor o la actividad industrial entre otros, es uno de los problemas principales del medioambiente local en Europa y la fuente del incremento del número de reclamos de la sociedad”. Expertos de la UE estiman que 120 millones de personas en la comunidad europea están perturbados por los niveles de ruido de tráfico superior a 55 dBA, y más de 50 millones de personas están expuestas a niveles de ruido superiores a 65 dBA [6]. Resultados similares fueron publicados en EE.UU. por la Administración Federal de Carreteras (FHWA) [7].

De acuerdo con la American Speech Language, and Hearing Association, 10 millones de estadounidenses sufren pérdida de audición inducida por ruido y 20 millones están expuestos a niveles de ruido potencialmente dañinos. La pérdida de audición se ha incrementado en un 14% desde 1971 [8].

Sin embargo, generalmente, las acciones para reducir el ruido medioambiental tienen una baja prioridad en comparación con otros problemas ambientales, tales como la contaminación del aire o el agua

En relación a la problemática expuesta, este trabajo tiene por objetivo identificar las zonas de contaminación acústica más comprometidas de la ciudad de Santa Fe, para luego establecer una clasificación de los diferentes sitios de la ciudad en función a los niveles de contaminación sonora

El Laboratorio Ambulante de Medición de Campos Electromagnéticos y Ruido (LAMCEM), posee una vasta experiencia en el estudio, evaluación y medición de ruido audible, ruido de líneas eléctricas y estaciones transformadoras.

Se realizó un plan de mediciones con el objeto de registrar los niveles de ruido (nivel sonoro continuo equivalente según curva de ponderación tipo A), en zonas de la ciudad con diferentes tipos de actividades, tales como: zonas residenciales, industriales –principalmente metalúrgicas-, comerciales y de entretenimiento nocturno. Además también se evaluaron posibles ruidos con características tonales e impulsivas.

El propósito de estas mediciones es conocer el grado de contaminación acústica de determinadas zonas puntuales de la ciudad, evaluar los valores obtenidos con los máximos permisibles de acuerdo a las normativas vigentes en el tema. De esta forma, es posible arribar a conclusiones, mediante un análisis comparativo de carácter cuantitativo con los niveles de ruido registrados en las diferentes zonas, de modo de conocer qué tipo de zona es la más conflictiva de la ciudad y por ende, que aporta mayor contaminación acústica. Luego también se determinó el peso relativo de la zona de mayor contaminación en relación a las demás, de modo de inferir acerca de la existencia o no, de instalaciones con aislaciones y/o atenuaciones acústicas, como bien podrían disponer cierto tipo de industrias.

## **2. NIVELES MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN ADMISIBLES SEGÚN NORMATIVAS.**

La norma IRAM 4062 [9] es utilizada por excelencia en nuestro país para la medición, clasificación y evaluación de los niveles de ruido audible en la vía pública.

El método de evaluación del ruido, propuesto en esta norma, se basa en la comparación del nivel sonoro continuo equivalente, con curva de ponderación A ( $L_{Aeq}$ ) con el nivel de ruido de fondo ( $L_f$ ), en el lugar y en el período de la evaluación.

El  $L_{Aeq}$  puede, en algunos casos, ser corregido por la percepción de ruidos de carácter tonal y/o impulsivo ( $K$ ).

$$L_E = L_{Aeq} + K \quad (1)$$

El  $L_f$  incluye apropiadamente las influencias del tipo de zona y periodo del día. Cuando el  $L_f$  no pueda ser medido, la comparación se efectúa con un nivel calculado ( $L_c$ ), que considera distintos aspectos del medio ambiente.

Para evitar considerar un  $L_f$  no característico, se efectúa una comparación del mismo con el  $L_c$ , para la situación considerada y se aplicará al procedimiento de evaluación, utilizando el menor de ellos.

$$L_E - L_{c/f} \leq 8[dBA] \quad (2)$$

La normativa considera como molesto aquél ruido que arroje un resultado de la ecuación 2 mayor a 8 dBA.

### 3. PLAN DE MEDICIONES

El LAMCEM, elaboró el plan de mediciones de ruido audible de la ciudad de Santa Fe considerando diferentes tipos de zonas que totalizaron 25 puntos de medición. Las características de las zonas son las siguientes:

- Zona industrial: fábricas más importantes y de mayor envergadura de la ciudad (fábrica de celulosa e industria cervecera) y varias fábricas metalúrgicas medianas y pequeñas.
- Zona comercial: microcentro de la ciudad
- Zona residencial: relevamiento en barrios Candiotti Norte, Fomento 9 de Julio, Guadalupe Este y Guadalupe Oeste.

En cada punto se registró, durante un tiempo de diez minutos, el  $L_{Aeq}$  y los posibles ruidos tonales, de acuerdo a un análisis del espectro de frecuencias por tercios de octavas.

En la figura 1 se muestra un plano de la ciudad de Santa Fe con la ubicación de los puntos de medición. Los puntos rojos corresponden a zonas comerciales, los azules a zonas residenciales y los negros a zonas industriales.



Figura 1. Plano de la ciudad de Santa Fe con los puntos de medición seleccionados

En la figura 2 se visualiza la medición del punto 1 realizada en una zona de tipo industrial. El equipo de medición de nivel sonoro utilizado es de última generación, marca Brüel Kjaer, modelo 2250 y mantiene su certificado de calibración vigente.



Figura 2. Punto de medición N° 1 realizado en zona industrial (industria cervecera)

### 3.1. Nivel sonoro continuo equivalente ( $L_{Aeq}$ ).

El  $L_{Aeq}$  es el nivel de presión límite sonora por octavas acústicas, medidas a través de la curva de ponderación A<sup>1</sup>. Describe la relación del nivel sonoro de un ruido, asociado con el tiempo de exposición y el daño del riesgo auditivo a las personas expuestas. Es útil para determinar el nivel sonoro máximo que debe tener una fuente de emisión.

<sup>1</sup> Curva de valoración aproximada a la sensación de intensidad acústica que percibe el oído.

En la figura 3 se muestran los niveles de  $L_{Aeq}$  registrados en el plan de mediciones. Los valores máximos de  $L_{Aeq}$  (81,0 y 82,2 dBA) corresponden ambos a zonas comerciales, cuya fuente de ruido se caracteriza, casi de modo exclusivo, por el tráfico automotor. Los elevados valores obtenidos pueden explicarse de acuerdo al colapso en el tránsito del microcentro santafesino que combina calles angostas, un volumen creciente de automóviles y transporte urbano, escasas vías de circulación rápidas (principalmente avenidas en la orientación este-oeste). En el microcentro predominan por excelencia las construcciones edilicias en altura que ofrecen un obstáculo a la propagación del ruido y en cierto modo pueden servir como superficies reverberantes, amplificando los niveles de ruido en cercanías de las fuentes que generan el mismo.

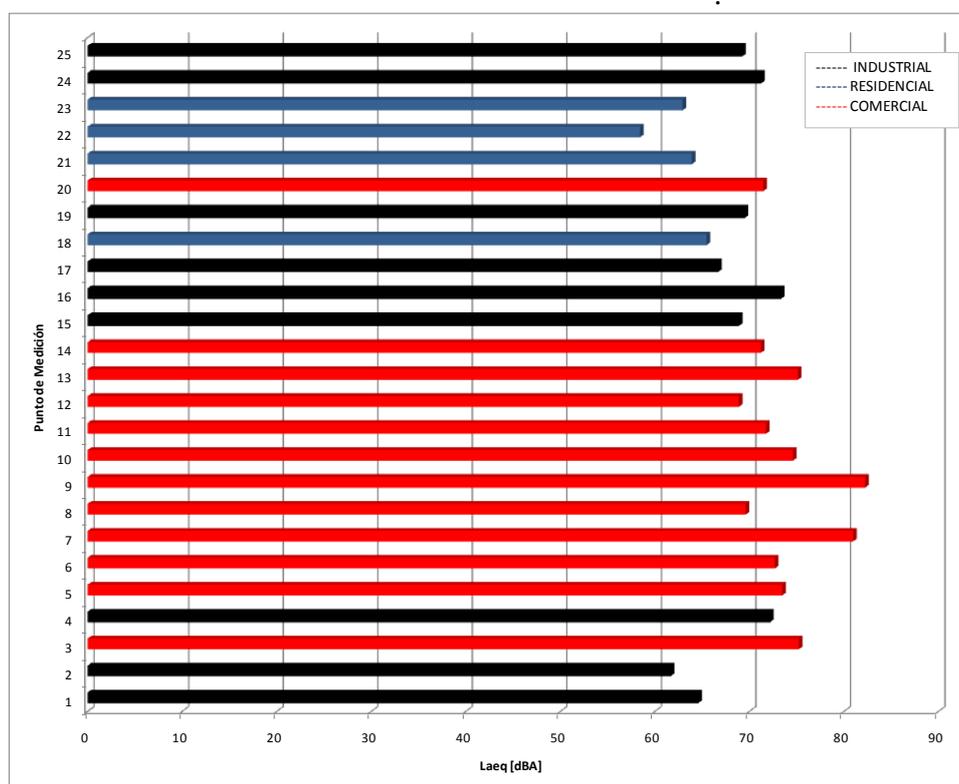


Figura 3. Mediciones del  $L_{Aeq}$

Por otra parte, como era de esperarse, los niveles de  $L_{Aeq}$  más reducidos pertenecen a aquellos registrados en la zona residencial (58, 4 y 62, 9 dBA) presentando diferencias mayores a 20 dBA respecto a los valores máximos medidos en zonas comerciales.

### 3.2. Búsqueda y evaluación de ruidos tonales.

Un ruido de tipo tonal es un ruido cuyo espectro presenta tonos audibles discretos, es decir que el nivel de presión sonora determinado en los medios geométricos de los tercios de octava es superior en 5 [dB] a nivel de presión sonora de la banda de octava contigua.

En el plan de mediciones, se comprobó la existencia de ruidos tonales en algunos puntos de medición. En la tabla 1 se presentan los tonos detectados y su frecuencia correspondiente.

N° Medición	Tipo de Zona	Frecuencia Tonal [Hz]
1	Comercial	10.000
14	Industrial	8000 y 16.000
17	Industrial	40

Tabla 1. Ruidos tonales

En la figura 4 se muestra el espectro de frecuencias elaborado por el software del equipo de medición. Se observan los tonos de 8 y 16 [kHz]

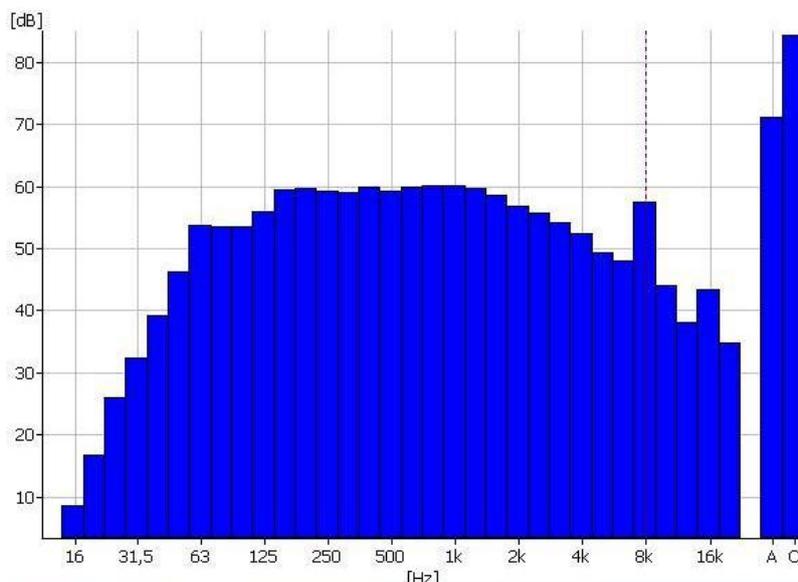


Figura 4. Tonos de 8 y 16 [kHz] detectados en el punto de medición n°14

El rango máximo de audición en el hombre incluye frecuencias de sonido desde 16 [Hz] hasta 28 [kHz]. La sensibilidad del oído a la intensidad del sonido (volumen) también varía con la frecuencia. Siendo mayor entre 3 y 4 [kHz]. Esta sensibilidad es menor cuando se reducen los niveles de intensidad de sonido. Entonces, para el caso particular de los tonos registrados, el más nocivo de acuerdo a su frecuencia, es el de 8000 [Hz], pues se ubica en un entorno más cercano a aquél que representa la máxima percepción. Más aún sabiendo que la percepción del sonido, en función del espectro de frecuencias, tiene un comportamiento acentuadamente no lineal y de tipo logarítmico.

### 3.3. Evaluación de los valores registrados con los máximos admitidos por la normativa vigente.

Para ello, se obtuvo previamente el nivel calculado  $L_c$ , de acuerdo a los factores de corrección por tipo de zona, ubicación del punto de medición y horario de la medición, según lo estipulado por la norma.

El  $L_{Aeq}$  también fue corregido en aquellos casos que, de acuerdo al análisis de espectro de frecuencias, se evidenció la presencia de algún ruido tonal.

En la tabla 2 se presentan los cálculos de  $L_e$ ,  $L_c$  y su posterior comparación.

N° Medición	Tipo de Zona	$L_{Aeq}$ dBA	$L_e$ dBA	$L_c$ dBA	$L_e-L_c$	Veredicto
1	Industrial	64,58	69,6	70	-0,4	Aceptable
2	Industrial	61,67	61,7	70	-8,3	Aceptable
3	Comercial	75,21	75,2	65	10,2	<b>Molesto</b>
4	Industrial	72,16	72,2	60	12,2	<b>Molesto</b>
5	Comercial	73,47	73,5	65	8,5	<b>Molesto</b>
6	Comercial	72,68	72,7	65	7,7	Aceptable
7	Comercial	80,95	81,0	65	16,0	<b>Molesto</b>
8	Comercial	69,6	69,6	65	4,6	Aceptable
9	Comercial	82,23	82,2	65	17,2	<b>Molesto</b>
10	Comercial	74,6	74,6	65	9,6	<b>Molesto</b>
11	Comercial	71,75	71,8	65	6,8	Aceptable
12	Comercial	68,88	68,9	65	3,9	Aceptable
13	Comercial	75,12	75,1	65	10,1	<b>Molesto</b>
14	Comercial	71,2	76,2	65	11,2	<b>Molesto</b>
15	Industrial	68,88	68,9	60	8,9	<b>Molesto</b>
16	Industrial	73,32	73,3	60	13,3	<b>Molesto</b>
17	Industrial	66,68	71,7	65	6,7	Aceptable
18	Residencial	65,46	65,5	55	10,5	<b>Molesto</b>
19	Industrial	69,49	69,5	65	4,5	Aceptable
20	Comercial	71,46	71,5	65	6,5	Aceptable
21	Residencial	63,9	63,9	55	8,9	<b>Molesto</b>
22	Residencial	58,43	58,4	55	3,4	Aceptable
23	Residencial	62,91	62,9	55	7,9	Aceptable
24	Industrial	71,23	71,2	60	11,2	<b>Molesto</b>
25	Industrial	69,23	69,2	70	-0,8	Aceptable

Tabla 2. Valores registrados de nivel sonoro continuo equivalente con curva de ponderación A

La medición del ruido de fondo ( $L_f$ ) no pudo realizarse debido a la imposibilidad de “silenciar” a las fuentes de ruido respectivas –tráfico automotor y procesos industriales principalmente-, por tratarse de mediciones en la vía pública. Por este motivo, el  $L_e$  fue comparado únicamente con el  $L_c$ .

Se observa que el número de mediciones que presentan niveles de ruido considerados como molestos, supera el 50% del total de las mediciones (ver figura 5).

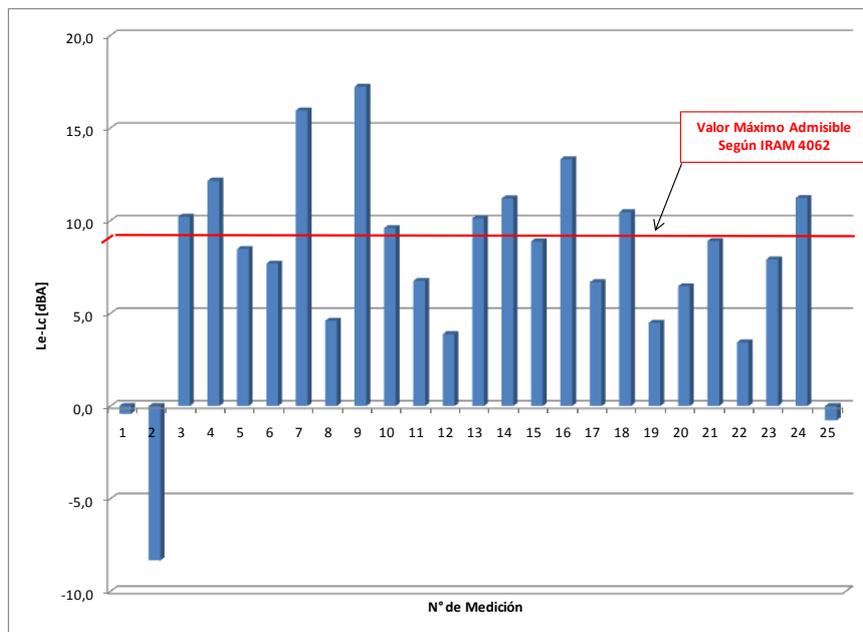


Figura 5. Comparación de los valores registrados con los máximos admisibles

#### 4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS VALORES MÁXIMOS REGISTRADOS.

Con relación al conjunto de datos recabados en el plan de mediciones, posteriormente se llevó a cabo un análisis estadístico, con el fin de obtener las variables estadísticas de cada tipo de zona relevada, correspondientes a: promedio, mediana, máximo, moda y desviación estándar. Los parámetros estadísticos calculados se muestran en la tabla 3 y en la figura 6 se visualizan los máximos para cada tipo de zona.

Parámetro Estadístico	Tipo de Zona		
	Residencial	Comercial	Industrial
<b>Media</b>	63	74	69
<b>Moda</b>	N/A	75	69
<b>Mediana</b>	64	73	69
<b>Desviación Estándar</b>	3	4	3
<b>Máximo</b>	65	82	73

Tabla 3. Parámetros estadísticos de las diferentes zonas relevadas

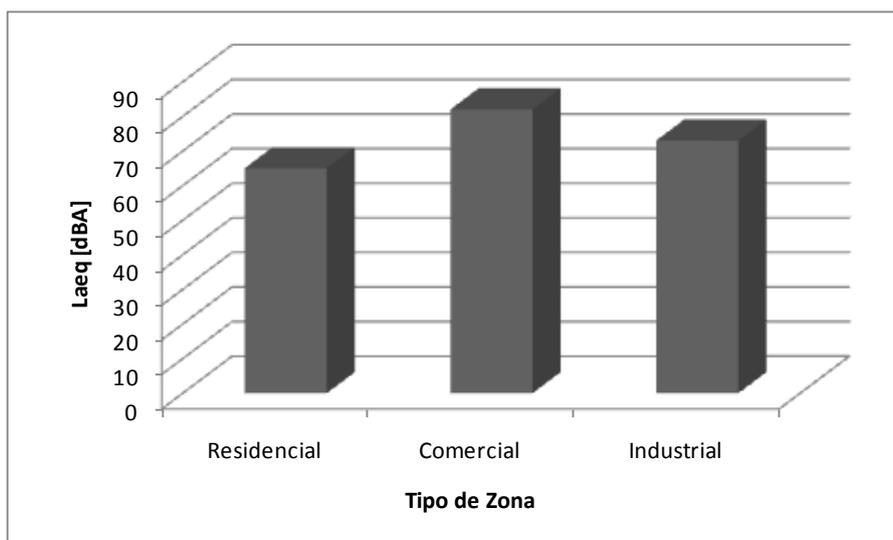


Figura 6. Valores máximos de las diferentes zonas

De acuerdo a estos resultados, se observa que los datos de las tres poblaciones (zona residencial, industrial y comercial) responden a una distribución de tipo normal o gaussiana, pues su valor medio, mediana y moda son muy próximos entre sí.

Según las desviaciones estándar calculadas y los valores máximos registrados, se deduce que los datos presentan una alta concentración en cercanías del valor medio. Ubicándose casi la totalidad de ellos en el 68% del área bajo la curva gaussiana (una desviación estándar). Los valores máximos deben entonces ser utilizados como parámetro válido para la comparación de las diversas zonas.

De acuerdo a los resultados estadísticos presentados en la tabla 3 se obtuvieron las siguientes apreciaciones:

- La zona comercial acusa el mayor valor promedio y máximo en comparación con las zonas restantes.
- El valor máximo de la zona comercial es ampliamente superior al de las zonas restantes. Superando en casi 10 dBA al de la zona industrial y en más de 20 dBA al de la residencial.
- Las zonas residencial e industrial presentan una mayor concentración en la distribución de datos. Ello significa que la campana de Gauss es más aguda mientras que la correspondiente a la zona comercial presenta una forma más acampanada – mayor dispersión de los valores-.

## 5. CONCLUSIONES

Los valores registrados en el plan de mediciones dejan de manifiesto que más del 50% de los sitios relevados presentan niveles molestos de ruido.

En el caso particular de las zonas comerciales, es de destacar que los valores son excesivamente elevados. Superando los 80 dBA, en varios sitios. Su justificación puede llegar a encontrarse en el importante volumen de tráfico automotor y las características edilicias de la zona, que impiden la propagación y posible atenuación del sonido.

Los puntos de medición correspondientes a zonas industriales, conformadas predominantemente por fábricas metalúrgicas de mediano y pequeño tamaño, arrojaron en más de un 70%, niveles de ruido molestos. Su escasa atenuación posiblemente pueda explicarse en las características constructivas del edificio fabril y en la deficiente aplicación de las normativas de higiene y seguridad vigentes. Además, gran parte de las metalúrgicas mantienen sus puertas de acceso abiertas, propagando, sin aislación ni atenuación alguna, aquellos ruidos propios del proceso de manufactura.

La distribución normal y con alta concentración de valores –campana de gauss aguda- permite el uso de los valores máximos como parámetro válido para la comparación de los niveles sonoros registrados en las diversas zonas.

Como trabajos futuros, se pretende continuar con el plan de mediciones con el propósito incrementar sustancialmente el número de sitios, relevando la diversidad de zonas industriales y residenciales de la ciudad y otorgando de esta manera una mejor representatividad de la muestra que permita reflejar, con la mayor certeza posible, la situación actual de contaminación sonora de la ciudad.

## REFERENCIAS

- [1] European Commission. “Green Paper on Future Noise Policy” (1996).
- [2] J. Bjork, J. Ardo, E. Stroh, H. Lovkvist, P. Ostergren y M. Albin. “Road traffic noise in southern Sweden & its relation to annoyance, disturbance of daily activities and health”. *Scand J Work Environ & Health* 2006; vol 32, pp 392-401 (2006).
- [3] I. Enmarker. “The effects of meaningful irrelevant speech and road traffic noise on teachers attention, episodic and semantic memory”. *Scand J of Psychol.* vol. 45, pp 393-405 (2004).
- [4] E. Yong. “City songbirds change their tune”. *New Scientist.* pp 33-35 (2008).
- [5] F. Castro Pinto. “Urban Noise Pollution Assessment Techniques, Methods and techniques in urban engineering”. *Intech.* pp 237-246 (2010).
- [6] H. Doygun y D. Gurun. “Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş”. *Environ Monit Assess* (2007).
- [7] FHWA. “High way traffic noise in United States (problem and response)”. [http://www.fhwa.dot.gov/environment/traffic\\_noise.htm](http://www.fhwa.dot.gov/environment/traffic_noise.htm) (2006).
- [8] M. Abbaspour, R. Golmohammadi, P. Nassiri y H. Mahjub. “An investigation on time-interval optimization of traffic noise measurement”. *J low freq noise, vibration and active control* 2006; vol. 25, pp. 267-273 (2006).
- [9] Norma IRAM 4062. “Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación” (2001).

## UN MODELO DE DIFUSIÓN ANISÓTROP A DE TRÁFICO URBANO: IMPACTO ACÚSTICO

Cortínez, Víctor H.<sup>1</sup> y Dominguez, Patricia N.<sup>2</sup>

1: Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de Abril 461, 8000 Bahía Blanca.  
e-mail: vcortine@frbb.utn.edu.ar

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, (CONICET)

2: Departamento de Ingeniería  
Universidad Nacional del Sur  
Av. Alem 1253, 8000 Bahía Blanca  
e-mail: pdoming@uns.edu.ar

**Palabras clave:** Difusión no lineal, Asignación de Tráfico, Ruido Urbano

**Resumen.** *La distribución de viajes en una red de transporte urbano viene gobernada por el primer principio de Wardrop y se conoce como “equilibrio de usuario”. La formulación matemática de dicho principio lleva a un problema de optimización cuyas variables corresponden a los flujos de tráfico circulando por las diferentes arterias de una ciudad. Se trata de un problema computacional muy costoso atendiendo a la enorme cantidad de incógnitas. En este trabajo se propone un modelo alternativo que conduce a ecuaciones de difusión anisótropa no lineal que pueden ser adecuadamente resueltas mediante el método de elementos finitos. A partir de tal modelo se obtienen los flujos automotores en cada arteria de la ciudad. Luego es posible determinar el impacto acústico generado por el tráfico, haciendo uso de convenientes fórmulas predictivas de ruido urbano.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El ruido es uno de los aspectos de la contaminación que más preocupa a los habitantes de las ciudades. El aumento del nivel sonoro entorpece la comunicación y tiene efectos psicofísicos: disminución de rendimiento, incomodidad y estrés, pudiendo producir consecuencias más graves tales como trastornos del sueño y pérdida de audición.

La principal causa del ruido urbano es el tránsito automotor, que se suma a los ruidos producidos por obras en construcción, establecimientos industriales, discotecas y lugares de recreación, entre otros. El ruido del tránsito automotor está determinado por una serie de factores: el ruido de los vehículos individuales, el flujo vehicular, la composición del tráfico y el tipo de calle. A su vez, el ruido de los vehículos depende del tamaño, del tipo y de la velocidad. Se han realizado una gran cantidad de trabajos orientados a predecir el nivel sonoro a partir del conocimiento de los flujos vehiculares y otras variables morfológicas: ancho de calles, relación promedio entre altura de edificios y ancho de calle, tipo de calzada, composición del tráfico vehicular, etc. A partir de tales estudios, se dispone de una serie de modelos tales como los desarrollados por Gaja [1], González [2], Li et al. [3] y Cortínez et al. [4-6] entre otros.

Es fundamental, entonces, el conocimiento de los flujos de vehículos en el área urbana y cuando se requiere estimar los mismos ante cambios en la red de transporte es necesario contar con modelos matemáticos capaces de predecirlos. En este sentido, uno de los modelos más desarrollados es el que describe el comportamiento del conjunto de conductores usando una red de transporte, desde un punto de vista estacionario y promediado. Este modelo permite estimar el número de vehículos que circulan en cada tramo de la red a partir de una matriz de viajes entre puntos de origen y destino, del conocimiento de las características de la red vial (capacidad y velocidad máxima de circulación) y de la utilización de una regla en la elección de rutas. El algoritmo más utilizado en la elección de rutas está basado en el primer principio de Wardrop [7] o principio del equilibrio del usuario. Éste establece que “para cada par origen-destino, el tiempo de viaje es igual sobre todos los caminos usados y también menor que o igual al tiempo de viaje que experimentaría un vehículo aislado por un camino no utilizado”, es decir que todos los conductores elegirán las rutas de mínimo tiempo (o costo) de recorrido y ninguno podrá experimentar un tiempo menor utilizando otra ruta. La aplicación de este principio requiere el conocimiento del costo de viaje (normalmente, el tiempo de viaje) que puede calcularse con expresiones empíricas de uso generalizado y que son funciones crecientes del flujo vehicular.

Con estos datos es posible construir un problema de optimización equivalente al primer principio de Wardrop, tal como el propuesto por Beckmann [7]. Una exposición detallada de esta formulación tanto para problemas de asignación, como para problemas de distribución-modo-asignación y algoritmos de resolución del problema pueden encontrarse en Sheffi [7]. Éste y enfoques similares han sido ampliamente utilizados por diferentes autores en los problemas de diseño y gestión de redes de transporte: Poorzahedy y Rouhani [8], Ying et al. [9], Chiou [10], Dominguez et al. [11], entre otros. La ventaja fundamental del enfoque discreto es que permite una representación muy detallada de la red y por lo tanto, el mismo detalle se obtiene en la determinación del flujo vehicular y del tiempo de recorrido de los tramos. Esta misma ventaja se convierte en una desventaja cuando las redes son muy grandes, ya que tanto el incremento de nodos y arcos, como el de puntos de origen y destino aumentan exponencialmente el tiempo de cálculo.

Un enfoque diferente y menos explorado es la formulación continua, donde la idea fundamental es que la variación de las características del tráfico en áreas cercanas es pequeña cuando se la compara a las diferencias del sistema entero y de esta manera se pueden utilizar funciones continuas para representar las características de la red tales como el costo de viaje y el flujo vehicular. El enfoque continuo tiene algunas ventajas en redes densas [12] ya que requiere menor cantidad de información, en principio puede aplicarse sin la necesidad de una construcción detallada del grafo de la red, utiliza menos recursos computacionales y aún así, puede brindar una visión rápida del impacto que se produce ante un cambio en la red. Una detallada reseña de la literatura y las posibilidades de aplicación de este enfoque se puede ver en Ho y Wong [13]. Los autores del presente artículo, utilizaron el enfoque continuo para estudiar el impacto ambiental acústico [14] y atmosférico [15] que puede ser producido por un cambio morfológico en la red de transporte.

En este trabajo se utiliza un nuevo modelo continuo, desarrollado con anterioridad por los autores [16] a partir de la formulación dual del problema discreto y de las bien conocidas y aceptadas funciones de costo (tiempos de recorrido) en los arcos, utilizadas en tal enfoque. La formulación conduce a un sistema de ecuaciones de difusión anisotropa no lineal, que puede

ser adecuadamente resuelto mediante el método de elementos finitos. Se ha demostrado que este modelo tiene una precisión comparable a la del problema discreto.

Es de destacar que el modelo presentado considera la anisotropía de la red, es decir las diferentes particularidades de circulación en cuanto a dirección y sentido, cuestión no contemplada en los anteriores modelos continuos. Otra cuestión muy importante es que permite obtener el flujo y el tiempo de recorrido en cada calle de la red de transporte a partir de los resultados obtenidos sobre el dominio espacial y en consecuencia es posible relacionar este modelo con modelos de contaminación urbana. Particularmente, en este trabajo se relaciona el modelo de tráfico con uno de ruido urbano.

En el apartado 2 se exponen los aspectos fundamentales del modelo continuo de tráfico, en el apartado 3, el modelo de ruido urbano, en el 4 se presentan ejemplos de aplicación para estudiar el impacto acústico y finalmente en el apartado 5 se presentan las conclusiones del trabajo.

## 2. MODELO CONTINUO ANISÓTROPO DE TRÁFICO

Se considera la ciudad como una región  $\Omega$  delimitada por un borde exterior  $\Gamma_0$  a través del cual no ingresan ni egresan vehículos (Figura 1).

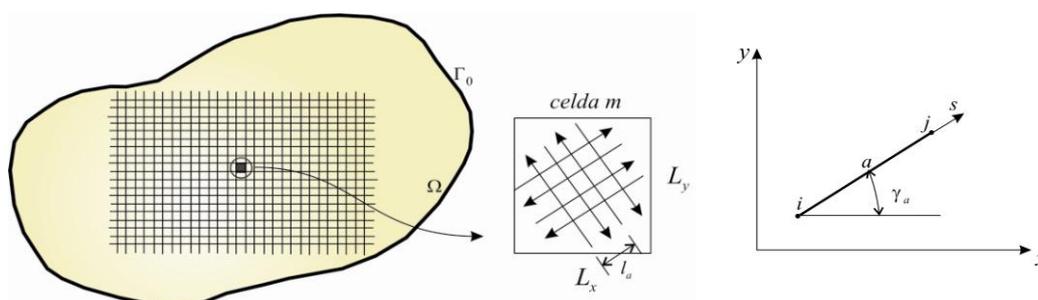


Figura 1: Discretización de la ciudad, sistema de calles en las celdas y tramo de calle entre nodo con dirección y sentido de circulación.

En el problema discreto, del cual se parte, la red de transporte se representa mediante un conjunto de nodos unidos por arcos dirigidos que representan en forma más o menos detallada las diferentes arterias urbanas. Los nodos corresponden a las intersecciones entre arterias, así como a los centroides de las zonas que actúan como orígenes o destinos de viajes. El problema consiste en obtener las rutas seguidas por los usuarios desde sus puntos de origen hacia sus destinos, conociendo la cantidad de viajes entre tales pares origen-destino, así como las características de la red de transporte. En otras palabras, la solución de tal problema permite determinar los flujos horarios en cada arco de la red y los tiempos de viaje.

La formulación dual del problema discreto consiste en la maximización de una función objetivo  $\omega$  que depende de una función potencial de costo  $u$  que representa el tiempo de viaje desde un determinado punto de la ciudad ‘ $r$ ’ hasta un punto de destino ‘‘ $s$ ’’.

$$\max \omega(u) = \sum_r \sum_s u_r^s Q_r^s - \sum_a \int_{a_0}^a t_a^{-1}(z) dz \quad (1a)$$

s.a.

$$u_j^s + t_a \geq u_i^s \quad \forall i, j, s, a \quad (1b)$$

$$t_a \geq t_{a_0} \quad \forall a \quad (1c)$$

donde  $Q_{rs}$  es la cantidad de viajes entre puntos de origen "r" y de destino "s",  $t_a^{-1}$  es la inversa de la función de costo de viaje en el arco y los extremos de la integral  $t_a$  y  $t_{a_0}$  representan el tiempo de recorrido y el tiempo de recorrido a flujo libre del arco  $a$  respectivamente.  $t_a$  es una función creciente de  $x_a$  que representa el flujo horario de vehículos que recorre el arco  $a$ . La restricción (1b) debe cumplirse para todo valor admisible de  $u_{is}$ , aunque la relación de igualdad solo se verificará para la solución del problema, es decir, para los valores que minimicen (1a). La restricción (1c) asegura que el tiempo de viaje en el arco  $a$  sea mayor o igual al correspondiente a la velocidad máxima de circulación.

Partiendo de este problema formulado en forma discreta, se obtiene una formulación continua aproximadamente equivalente, es decir que mantiene las características del sistema y que una vez resuelto permite obtener el flujo vehicular y el tiempo de recorrido en cualquier calle de la red con valores similares a los obtenidos por medio del enfoque discreto.

Para ello, se divide el dominio completo de la ciudad  $\Omega$  en  $M$  celdas de área  $L_x L_y$ , tal como se puede ver en la Figura 1, donde las longitudes  $L_x$  y  $L_y$  son pequeñas con respecto a las dimensiones de la ciudad. Se supone que en el área que se examina existe un sistema de calles paralelas de tal manera que para cada calle en una dirección y sentido, existe otra en igual dirección y sentido contrario. De esta manera, los arcos que se suman en la expresión (1a) corresponden a la mitad de los arcos y las longitudes  $l_a$  de los tramos a tener en cuenta serán las distancias entre dos calles de igual dirección y sentido. Se considera que el sentido de circulación en el arco  $a$ , en la dirección  $s$ , que forma un ángulo  $\gamma_a$  con el eje  $x$ , es desde el nodo  $i$  hacia el nodo  $j$  de acuerdo a la Figura 1.

El tiempo mínimo de recorrido del arco se puede expresar como  $t_a = u_{is} - u_{js}$  y esta diferencia de potencial entre los dos nodos del arco puede aproximarse mediante:

$$t_a = \Delta u \square - \frac{\partial u}{\partial s} l_a = -l_a \left( \frac{\partial u}{\partial x} \cos \gamma + \frac{\partial u}{\partial y} \sin \gamma \right) \quad (2)$$

Se asume implícitamente que  $u$  puede representarse como una función continua bidimensional que adopta los valores adecuados en cada uno de los nodos a los cuales se los identifica por sus coordenadas cartesianas  $(x, y)$ . En consecuencia  $u(x, y)$  representa el tiempo de viaje desde el nodo ubicado en  $(x, y)$  hasta el destino.

Se adopta como función de costo de viaje en el arco  $a$ , una de las más utilizadas, la propuesta en el Manual de Asignación de Tráfico de la U.S. Bureau of Public Roads [17] conocida como función BPR:  $t_a = t_{a_0} \left( 1 + \alpha_a x_a / C_a^{\varphi_a} \right)$ . En esta función  $C_a$  representa la capacidad del arco, medida en vehículos por hora y por calle y  $\alpha_a$  y  $\varphi_a$  son coeficientes que tienen en cuenta las características específicas de la arteria considerada. Para cada punto de destino "s" esta función puede reescribirse de la siguiente manera:

$$t_a^s = t_{a_0}^s \left( 1 + \frac{\alpha_a}{C_a^{\varphi_a}} \left( x_a^s + \left( \sum_{i \neq s} x_a^i + x_{Ra} \right) \right)^{\varphi_a} \right) \quad (3)$$

En la expresión (3) el flujo se considera como la superposición de dos términos, uno que describe el flujo de usuarios  $x_a^s$  que viajan hacia el centro “s” y que se comportan según el primer principio de Wardrop [7], y otro que describe flujos residuales  $x_{Ra}$  (tales como los correspondientes a transporte público) que no cumplen tal principio y flujos hacia otros centros. Esto se agrupa de tal manera, para permitir, en la resolución iterativa, considerar en cada paso solo como flujos activos los correspondientes al centro que se analiza. Invertiendo la expresión (3) se puede obtener el flujo en el arco  $a$  que se dirige hacia el centro “s”

$$x_a^s = \left( \frac{t_a^s - t_{a_0}}{t_{a_0}} \frac{C_a^{\theta_a}}{\alpha_a} \right)^{\frac{1}{\theta_a}} - \left( \sum_{i \neq s} x_a^i + x_{Ra} \right) \quad (4)$$

Aplicando cálculo variacional sobre la formulación (1a) se llega a un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales acopladas que rigen el problema considerado:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x^s \frac{\partial u_s}{\partial x} + k_{xy}^s \frac{\partial u_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{xy}^s \frac{\partial u_s}{\partial x} + k_y^s \frac{\partial u_s}{\partial y} \right) + q_s = 0 \quad \forall (x, y) \in \Omega, \quad s = 1, 2, \dots, S \quad (5)$$

donde:

$$k_x^s = \sum_{a \in m} p_a^s(t_a^s) \frac{l_a^2 \cos^2 \gamma_a}{L_x L_y} \quad k_{xy}^s = \sum_{a \in m} p_a^s(t_a^s) \frac{l_a^2 \cos \gamma_a \sin \gamma_a}{L_x L_y} \quad k_y^s = \sum_{a \in m} p_a^s(t_a^s) \frac{l_a^2 \sin^2 \gamma_a}{L_x L_y} \quad p_a^s = \frac{x_a^s}{t_a^s}$$

En esta última expresión  $x_a^s$  viene dada por (4) y  $t_a^s$  por (2). Obviamente una vez resuelto el problema se verifica que  $t_a = t_a^s \quad \forall s$ .  $q(x, y)$  corresponde a la demanda de viajes por unidad de superficie.

La condición a cumplir en el borde de la ciudad es:

$$f_x n_x + f_y n_y = 0 \quad \forall x, y \in \Gamma_0 \quad (6)$$

donde

$$f_x = - \left( k_x \frac{\partial u}{\partial x} + k_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad f_y = - \left( k_{xy} \frac{\partial u}{\partial x} + k_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (7)$$

mientras que  $n_x$  y  $n_y$  son las componentes del versor normal a la curva que define el contorno de la misma. Otras condiciones de contorno posibles son las siguientes:

a) valor nulo de  $u$  en el centro de destino (por definición del potencial  $u$ ):

$$u(x_c, y_c) = 0 \quad (8)$$

donde  $x_c, y_c$  son las coordenadas del centro de destino.

b) flujo conocido  $f_{n0}$  en algún borde interno o externo

$$f_x n_x + f_y n_y = f_{n0} \quad (9)$$

El modelo propuesto se resuelve por el método de elementos finitos utilizando el software FlexPDE. En este programa el problema se define a través de la escritura de las ecuaciones diferenciales gobernantes y de sus correspondientes condiciones de contorno en un archivo de textos denominado descriptor utilizando una notación muy sencilla, similar a la usada comúnmente en matemática. Internamente, dicho programa se encarga de obtener las correspondientes ecuaciones variacionales, a través de un proceso tipo Galerkin, así como de la correspondiente discretización efectuando un mallado automático. Además posee varias estrategias que el usuario puede seleccionar para la resolución de problemas no lineales de contorno y/o de valores iniciales.

### MODELO DE RUIDO URBANO

El parámetro utilizado para determinar la contaminación acústica en las ciudades es el nivel sonoro continuo equivalente, de tal manera que un modelo de ruido urbano que sirva para tal fin debe correlacionar este valor con las características de las calles y la cantidad y tipos de vehículos que transitan. En este trabajo se utiliza, a manera de ejemplo, la expresión obtenida por Cortínez et. al [5] para la ciudad de Bahía Blanca.

$$Leq = 10 \log(A \log(10^{(Lp1+\Delta)/10}) + P \log(10^{(Lp2+\Delta)/10}) + M(10^{(Lp3+\Delta)/10})) - 35,61 \quad (10)$$

La expresión fue obtenida a partir de la formulación teórica que corresponde al ruido emitido por una sucesión de fuentes puntuales (vehículos) en movimiento en un intervalo de tiempo dado y la composición vehicular. Los valores de  $L_p$  se obtuvieron mediante métodos de regresión de acuerdo a valores de  $Leq$  medidos en distintos puntos de la ciudad.  $A$ ,  $P$  y  $M$  son respectivamente la cantidad de automóviles, vehículos pesados y motos que circulan por hora,  $L_{p1}=74,5$  dBA,  $L_{p2}=81,5$  dBA y  $L_{p3}=85,5$  dBA, son los niveles de presión sonora correspondientes a cada una de las categorías vehiculares anteriores y  $\Delta = 3,3099$  es un factor de atenuación que tiene en cuenta, entre otros, el tipo de piso.

### 3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Se modela una ciudad de aproximadamente  $280 \text{ km}^2$  con zonas de diferentes características de acuerdo a la tabla 1. Para el cálculo de los coeficientes  $k_x$ ,  $k_y$  y  $k_{xy}$  se adoptan celdas de lados  $L_x=0,8$  km y  $L_y=0,8$  km. La longitud de calles entre intersecciones es de 100 m, por lo cual  $l_a=200$  m. De acuerdo a esto, se suman 16 arcos en cada dirección en cada celda, menos en las celdas de la zona 6 que simula un río y zona alledaña, donde se consideran 8 arcos s/x y 4 arcos s/y. Para la función de tiempo de viaje se adoptan para todos los arcos  $\alpha=0,15$  y  $\phi=2$ . Se asume una composición vehicular de 80% de vehículos livianos, 10% de vehículos pesados y 10% de motos. En la ciudad existen 4 centros de atracción de viajes, que pueden corresponder a centros comerciales, que compiten entre sí por la atracción de clientes. A partir de esta situación inicial se plantean dos nuevas situaciones:

- La creación de una zona protegida (7) donde se pretende bajar el nivel sonoro mediante reducción de velocidad máxima de circulación y de capacidad.
- La instalación de un nuevo centro comercial con dos posibles lugares de asentamiento, en la zona norte y en la zona oeste de la ciudad. Se evalúa el impacto acústico de ambas

opciones.

Zonas		$V_{\text{máx}}$ (Km/h)	Capacidad (Veh/h)	$\gamma_1 - \gamma_2$ (grados)	$q$ (veh/km <sup>2</sup> )
Originales	1-2-3	60	600	0 -90	200
	4	60	600	30-120	200
	5	60	600	45-135	200
	6	40	600	0-90	75
Nueva	7 (zona protegida)	40	400	-	-

Tabla 1: Características de las zonas de la ciudad.

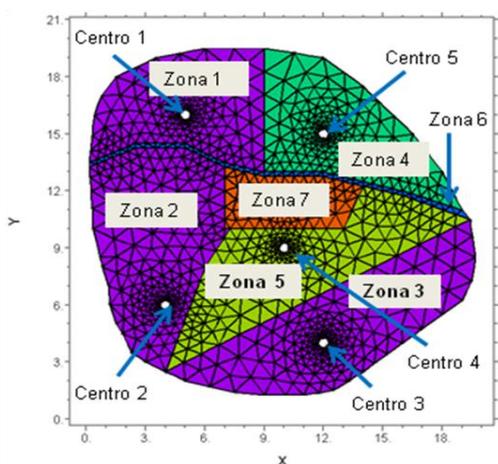


Figura 2: Zonas y centros de la ciudad.

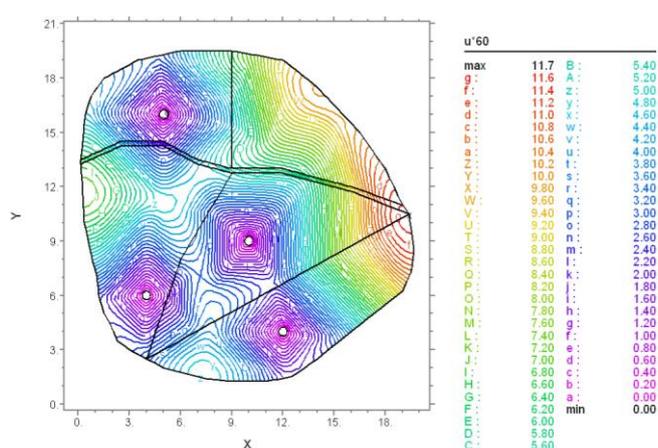
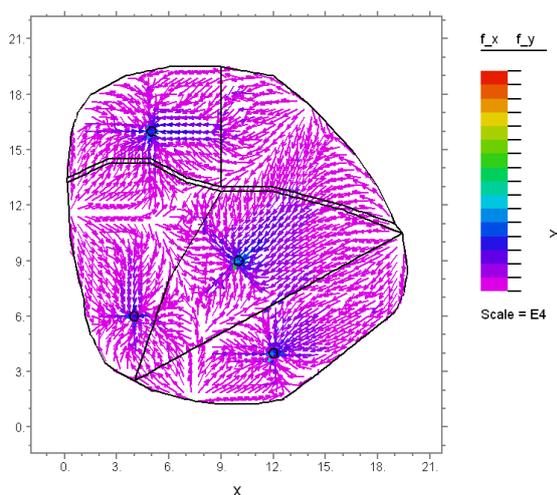


Figura 3: Tiempos de viaje (minutos).



4: Flujo vehicular (veh/h/km)

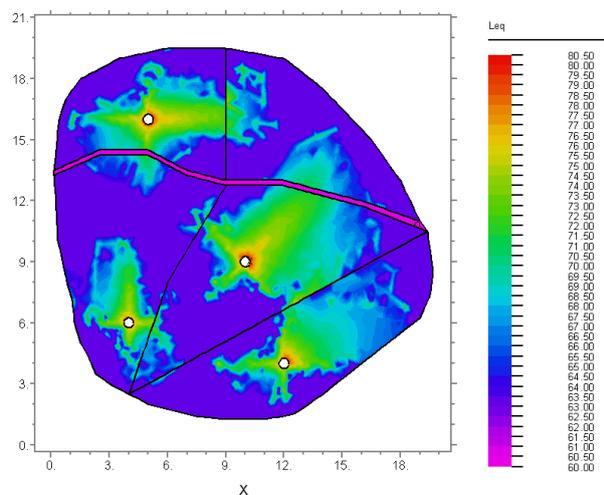
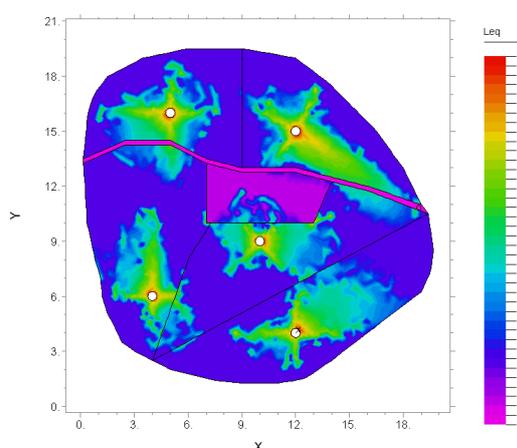


Figura 5: mapa acústico 4 centros (dB(A)).

En las Figura 2 se muestran las distintas zonas y centros de la ciudad y la malla de elementos finitos cuando el quinto centro se ubica en el norte de la ciudad. En las Figuras 3, 4 y 5 se pueden ver el tiempo de viaje desde cada punto de la ciudad al centro comercial elegido, el patrón de flujos y el mapa acústico, respectivamente, para la situación original. De los 55015 viajes que se generan, el 28,6 % de los conductores eligen el centro 1, el 19,6% el centro 2, el 22,1% el centro 3 y el 29,7% restante el centro 4. En las figuras 6 y 7 se muestran los mapas acústicos correspondientes a las dos posibles ubicaciones del quinto centro comercial, en las zonas norte y oeste respectivamente con la inclusión de la zona protegida (7). Como se puede apreciar, la ubicación del nuevo centro en la zona norte es más beneficiosa para dicha zona. En este caso se reduce el nivel sonoro en 6 dBA promedio en la zona, mientras que ubicando el nuevo centro en la zona oeste, prácticamente no hay reducción del mismo. En esta ubicación el porcentaje de clientes que eligen los centros 1 a 5 son respectivamente 25,4%,



13,2%, 22,6%, 26,2% y 12,6%.

Figura 6: mapa acústico centro 5 zona Norte (dBA).

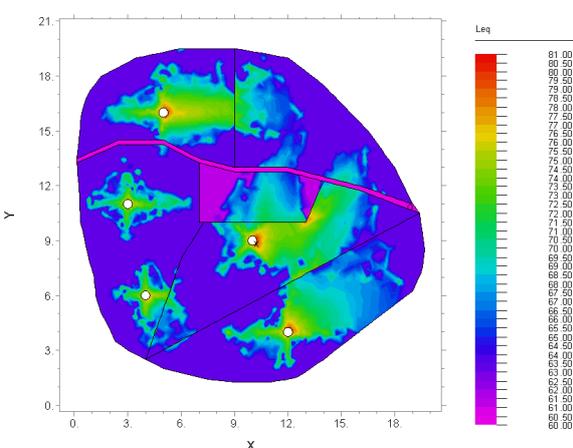


Figura 7: mapa acústico centro 5 zona Oeste (dBA).

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha presentado un modelo continuo de tráfico urbano que brinda resultados comparables en precisión a los de los tradicionales enfoques discretos con tiempos de cálculo menores. A diferencia de los modelos continuos anteriores, este modelo contempla la anisotropía de la red, es decir las diferentes particularidades de circulación de acuerdo a la dirección. Un aspecto importante es que el modelo permite obtener el flujo y la velocidad de circulación en cada una de las calles de la ciudad lo que hace posible acoplarlo a modelos de contaminación, tanto acústica como atmosférica. Particularmente, en este trabajo se utiliza el flujo vehicular para obtener un mapa de ruido urbano.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es parte del proyecto “Modelos Matemáticos en Ingeniería Ambiental: Problemas Directos e Inversos” (Director: Dr. Víctor H. Cortínez, Secyt, Universidad Tecnológica Nacional). Asimismo forma parte del trabajo de tesis desarrollado por Patricia N. Domínguez, bajo la dirección de V. H. Cortínez, para obtener el título de Dr. en Ingeniería en el Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur.

## REFERENCIAS

- [1] Gaja Díaz, E., *Contribución al estudio de un modelo matemático sobre el ruido emitido por el tráfico urbano y los niveles de molestia en el municipio de Valencia*. Tesis doctoral ETS11-UPV, España, (1984).
- [2] González, Alicia E., *Contaminación sonora en ambiente urbano: optimización del tiempo de muestreo en Montevideo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico*. Tesis doctoral, U. Montevideo, Uruguay, (2000).
- [3] Li, B.; Tao, S.; Dawson, R.; Cao, J.; Lam, K., "A GIS based road traffic noise prediction model". *Applied Acoustics* 63, 679-691, (2002).
- [4] Cortínez, Víctor H.; Girón, Pablo G.; Azzurro, Adrián P.; Tonini, M.; Sequeira, Martín; Ercoli Liberto, "An urban noise study in the city of Bahía Blanca, Argentina" Proc. *Internoise, Congress on Noise Control Engineering*, Río de Janeiro, Brasil, (2005).
- [5] Cortínez, Víctor H.; Stoklas, Cecilia I; Girón, Pablo G.; Azzurro, Adrian P.; Ercoli Liberto, "Modelos de predicción de ruido de tránsito para la ciudad de Bahía Blanca, Argentina" Proc. *V Congreso Iberoamericano de Acústica*, Santiago de Chile, (2006).
- [6] Cortínez, Víctor H.; Sequeira Martín; Vidal Marta, "Identificación de fuentes de ruido en ambientes urbanos industriales". *Contaminación Atmosférica en Argentina*, S.E.Puliafito y N. Quaranta (Eds.), Universidad Tecnológica Nacional, (2008).
- [7] Sheffi, Y., *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with mathematical programming methods*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, (1984).
- [8] Poorzahedy, H., Rouhani, O., "Hybrid meta-heuristic algorithms for solving network design problem". *European Journal of Operational Research* 182:578-596, (2007).
- [9] Ying, J., Lu, H., Shi, J. "An algorithm for local continuous optimization of traffic signals", *European Journal of Operational Research* 181, 1189-1197, (2007).
- [10] Chiou, S. "Simultaneously optimizing link tolls and signal settings in a road network". *Applied Mathematical Modelling* 33-5, 2311-2323, (2009).
- [11] Domínguez, P.; Vidal, M. y Cortínez, V. "Diseño óptimo de redes de transporte urbano considerando aspectos medioambientales". *Mecánica Computacional Vol. XXVIII*, 2599-2624, (2009).
- [12] Sasaki, T.; Iida, Y.; Yang, H. "User equilibrium traffic assignment by continuum approximation of network flow". *11th International Symposium of Transportation and Traffic Theory*, Yokohama, Japan, 233-252, (1990).
- [13] Ho, H.; Wong, S. "Two dimensional continuum modeling approach to transportation problems". *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 6, 53-72, (2006).
- [14] Cortínez, V., Domínguez, P. "Un modelo continuo de asignación de tráfico para el estudio de ruido urbano". *Primeras Jornadas Regionales de Acústica Aada 2009*, Rosario. ISBN 978-987-22880-8-2, (2009).
- [15] Domínguez, P., Cortínez, V. "Aplicación de un modelo continuo de distribución-asignación de tráfico urbano: Impacto Ambiental". *II Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial, MACI (2)2009*, 277-280, (2009).
- [16] Cortínez, V., Domínguez, P. "Un modelo continuo anisótropo para el estudio del tráfico urbano congestionado". *Mecánica Computacional Vol. XXIX*, 2173-2197, (2010).
- [17] U.S. Bureau of Public Roads (1964). *Traffic assignment manual*. U.S. Department of Commerce, Washington D.C.



## CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN SONORA EN EL INTERIOR DE UN ESTABLECIMIENTO EDUCATIVO DEL MICROCENTRO DE LA CIUDAD DE MENDOZA

Boschi, César E<sup>1\*</sup>; Robles, María del C.<sup>2</sup>; Bologna, Rosa<sup>2</sup>; Antivilo, María C.<sup>2</sup> y Ormeño, Lorena<sup>2</sup>

1: Laboratorio de Acústica y Sonido “Mario G. Camín”  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Dirección postal  
e-mail: cboschi@frm.utn.edu.ar

2: Licenciatura en Educación Ambiental  
Facultad de Educación Elemental y Especial  
Universidad Nacional de Cuyo  
Dirección postal  
e-mail: maritarobles@yahoo.com.ar

**Palabras clave:** Sonido, Ruido, Contaminación Sonora, Educación, Microcentro

**Resumen.** *El presente trabajo describe la investigación realizada con el objeto de caracterizar la contaminación sonora que se produce en un establecimiento educativo situado en el microcentro de la Ciudad de Mendoza. En un estudio previo realizado por el Laboratorio de Acústica de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Mendoza, se puso de manifiesto la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica debido al flujo vehicular. Los datos ponen en evidencia la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica que afecta el entorno del centro educativo donde se desarrolló la investigación. Diversos estudios han señalado en forma inequívoca que el ruido aún si es de baja intensidad, afecta negativamente al ser humano en su actividad física e intelectual, así como en el esparcimiento y el descanso. La metodología de la investigación fue cuantitativa y consistió en registrar los niveles sonoros en un grupo seleccionado de aulas del establecimiento en un período completo de la jornada escolar desde las 08:00 hs. hasta las 23:30 hs. y en distintas situaciones áulicas. Las mencionadas aulas se eligieron en función de su ubicación y distribución en el edificio respecto de la calle con mayor circulación de tránsito. Finalmente se emitieron conclusiones.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El sonido es una sensación auditiva producida por ondas de presión generadas por el movimiento vibratorio de cuerpos, que se transmite por un medio elástico, normalmente el aire. Los sonidos se pueden clasificar de distintas maneras según el criterio que se siga. Atendiendo al criterio de la relación que guardan entre si los patrones que forman las ondas de presión, los sonidos se pueden clasificar en musicales o ruido. Si bien desde el punto de vista

exclusivamente físico no hay distinción entre sonido y ruido, ciertos sonidos agradables clasificados generalmente como musicales, pueden convertirse en molestos cuando los niveles de presión sonora que alcanzan son excesivos. Desde el punto de vista de la contaminación sonora se define al ruido como todo sonido no deseado. Por tanto, vemos que la diferencia entre sonido agradable y sonido molesto depende tanto del nivel de presión sonora como de la respuesta subjetiva.

En cualquier lugar existen ruidos procedentes de diferentes fuentes, unas próximas y otras lejanas; pueden llegar directamente desde sus fuentes generadoras o reflejados por superficies tales como edificaciones, aceras y/o calzadas. De acuerdo con lo expuesto, al ruido total asociado con un determinado entorno se lo llama ruido ambiental. En los conglomerados urbanos al ruido ambiental se lo denomina también ruido urbano, ruido residencial o ruido doméstico y se define como el ruido emitido por todas las fuentes presentes en dichos conglomerados a excepción de las industriales.

Las consecuencias de la contaminación acústica para la salud se describen según sus efectos específicos: deficiencia auditiva causada por el ruido; interferencia en la comunicación oral; trastorno del sueño y reposo; efectos psicofisiológicos, sobre la salud mental y el rendimiento; efectos sobre el comportamiento; e interferencia en actividades [1]. Diversos estudios han señalado en forma inequívoca que el ruido aún si es de baja intensidad, afecta negativamente al ser humano en su actividad física e intelectual, así como en el esparcimiento y el descanso [2]. El ruido de fondo que interfiere con la habilidad de las personas para entender el lenguaje hablado, se mide generalmente en dB compensados con la escala A, dB(A), y promediado en el tiempo de tal forma de encontrar un sonido constante de igual energía que el real, dando lugar al concepto de nivel sonoro continuo equivalente: NSCE. La relación señal a ruido, indica la diferencia en dB existente entre la señal que se desea escuchar (instrucción verbal del docente) y el ruido de fondo existente. En un estudio realizado sobre la contaminación sonora en la ciudad de Mendoza por el Laboratorio de Acústica de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Mendoza [3], se puso de manifiesto la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica debido al flujo vehicular, en un área representativa del microcentro de la Ciudad de Mendoza. La institución educativa en la que se llevó a cabo la investigación, está ubicada en esa zona del microcentro, en la intersección de dos calles muy transitadas, las cuales son Patricias Mendocinas con circulación de Norte a Sur, por la cual circula un gran número de líneas del transporte público de pasajeros y Necochea con circulación de Oeste a Este, por donde se deriva gran parte del tránsito vehicular que viene desde la zona Oeste de la ciudad y se dirige hacia el microcentro. En los alrededores del establecimiento se ubican tres playas de estacionamiento y una plaza pública muy concurrida. También se sitúa muy cerca la Legislatura provincial que es una zona donde se concentran habitualmente manifestaciones callejeras.

## **2. EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN SONORA**

Con el objetivo de evaluar la contaminación sonora, se realizaron dos tipos de mediciones, a saber:

- a) Mediciones de ruido de fondo: se realizaron en un día laborable en una jornada en la cual no hubo actividad escolar, de modo que en la escuela no había alumnos en ninguno de los turnos por lo cual se pudo medir los niveles sonoros que impactan en el edificio escolar prescindiendo de la influencia de las actividades escolares.

- b) Mediciones de niveles sonoros en las distintas situaciones áulicas fueron realizadas a lo largo de varios días de actividad escolar normal, considerando las siguientes situaciones áulicas:
- Aula con alumnos y docente en silencio
  - Aula con alumnos en actividad normal, con el docente en silencio.
  - Aula con alumnos en actividad normal interactuando con el docente.
  - Aula con alumnos en silencio, con el docente hablando normalmente.

### **2.1. Metodología**

A los fines de determinar los niveles sonoros en el interior de las aulas, la metodología empleada puede resumirse como sigue:

- a. Identificación de aulas y horarios aptos para efectuar las mediciones en el establecimiento educativo.
- b. Calibración del Medidor de Nivel Sonoro.
- c. Medición y registro, en las aulas seleccionadas, de los niveles sonoros durante los períodos de referencia establecidos y en distintas instancias de la actividad áulica.
- d. Sistematización de los registros obtenidos.

### **2.2. Lugares de medición**

En el establecimiento bajo estudio funcionan dos instituciones educativas estatales:

- Institución educativa 1: Un colegio de educación general básica (EGB) con dos turnos, mañana y tarde.
- Institución educativa 2: Un Centro de educación nocturna secundario (CENS), en turno noche.

El edificio consta de dos plantas, con 14 aulas distribuidas tanto en la planta baja, como en el primer piso. Las aulas tienen localizadas sus puertas y una parte de sus ventanas, con orientación hacia el patio interior de la escuela. El resto de las ventanas están orientadas hacia el sur, en donde se encuentra un pasillo que separa la escuela de las propiedades lindantes.

En reuniones preparatorias con los directivos de la institución educativa se establecieron en que aulas se iban a llevar a cabo los estudios:

- Planta Baja: Aulas N° 1, N° 4 y N° 7
- Planta Alta: Aulas N° 8, N° 11 y N° 14

Las mencionadas aulas se eligieron en función de su ubicación y distribución en el edificio respecto de la calle con mayor circulación de tránsito. Dado que las aulas N° 1 y N° 8 son las que se encuentran más próximas a la citada arteria y teniendo en cuenta las observaciones in situ, se estimó que eran las más afectadas por el ruido del tránsito vehicular. Luego se seleccionaron las aulas N° 4 y N° 11 porque se encuentran en el centro del cuerpo del edificio y finalmente, las aulas N° 7 y N° 14 porque son las más alejadas de la mencionada calle y se estimó que serían las menos contaminadas.

### **2.3. Horarios de medición**

En cuanto a los horarios se establecieron:

- Tres franjas horarias en el turno mañana, de 08:00 hs. a 09:00 hs.; de 10:20 hs. a 11:20 hs. y de 11:30 hs. a 12:30 hs.
- Tres franjas horarias en el turno tarde, de 13:30 hs. a 14:30 hs.; de 14:40 hs. a 15:40 hs. y de 17:00 hs. a 17:50 hs.
- Dos franjas horarias en el turno noche, de 20:00 hs. a 22:30 hs. y de 22:40 hs. a 23:50 hs.

Se eligieron estos horarios a los fines de caracterizar la influencia del tránsito vehicular, el cual se incrementa en los horarios de entrada y salida de las actividades laborales y comerciales en el microcentro de la Ciudad y disminuye en los horarios intermedios. Además se tuvieron en cuenta los horarios establecidos por la Norma IRAM 4062 - Versión 2001, que bajo el título 3.2. establece tres horarios de referencia para caracterizar el ruido, estos son:

- Horario diurno, comprendido entre las 08:00 hs. y las 20:00 hs.
- Horario nocturno, comprendido entre las 22:00 hs. y las 06:00 hs.
- Horarios de descanso, comprendidos entre la 06:00 hs. y las 08:00 hs. y entre las 20:00 hs. y las 22:00 hs.

### 3. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

En las siguientes tablas se resumen los resultados de la totalidad de las mediciones efectuadas en la Institución educativa 1 (turno mañana y turno tarde) y en la Institución educativa 2 (turno noche):

<i>AULA N° 1</i>						
<i>MODULO</i>	<i>HORA</i>	<i>SITUACIÓN ÁULICA</i>				
		Fondo	Sil.	Alum.	Int.	Doc.
<i>TURNO MAÑANA</i>						
1°	08:00 a 09:00	55,3	55,3	72,7	73,8	66,1
3°	10:20 a 11:20	57,2	54,6	74,2	73,9	62,3
4°	11:30 a 12:30	57,4	51,8	76,3	76,1	64,1
<i>TURNO TARDE</i>						
1°	13:30 a 14:30	47,9	53,8	70,9	75,4	71,4
2°	14:40 a 15:40	47,7	53,7	73,0	73,1	78,6
4°	17:00 a 17:50	42,1	58,2	69,7	68,8	72,3
<i>TURNO NOCHE</i>						
1°	20:00 a 22:30	46,5	48,5	59,8	68,2	68,1
2°	22:40 a 23:50	45,2	50,1	64,6	70,4	67,4

Tabla 1. Resultados para el Aula N° 1

<i>AULA N° 4</i>						
<i>MODULO</i>	<i>HORA</i>	<i>SITUACIÓN ÁULICA</i>				
		Fondo	Sil.	Alum.	Int.	Doc.
<i>TURNO MAÑANA</i>						
1°	08:00 a 09:00	56,0	54,1	72,6	72,8	65,2
3°	10:20 a 11:20	63,1	54,4	78,0	77,8	73,5
4°	11:30 a 12:30	55,4	49,1	69,8	74,4	77,2
<i>TURNO TARDE</i>						
1°	13:30 a 14:30	47,87	57,8	74,7	77,4	70,6
2°	14:40 a 15:40	47,74	56,9	73,6	76,4	70,6
4°	17:00 a 17:50	42,12	45,8	63,1	70,7	75,2
<i>TURNO NOCHE</i>						
1°	20:00 a 22:30	44,8	52,5	67,4	75,0	72,8
2°	22:40 a 23:50	45,2	49,5	60,1	66,4	62,4

Tabla 2. Resultados para el Aula N° 4

<i>AULA N° 7(*)</i>						
<i>MODULO</i>	<i>HORA</i>	<i>SITUACIÓN ÁULICA</i>				
		Fondo	Sil.	Alum.	Int.	Doc.
<i>TURNO MAÑANA</i>						
1°	08:00 a 09:00	49,5	53,7	68,7	75,9	71,9
3°	10:20 a 11:20	48,3	63,2	77,0	77,4	72,3
4°	11:30 a 12:30	52,0	60,2	74,4	78,3	73,9
<i>TURNO TARDE</i>						
1°	13:30 a 14:30	46,3	54,2	79,0	81,6	78,3
2°	14:40 a 15:40	48,5	54,2	72,7	80,2	72,1
4°	17:00 a 17:50	46,8	53,5	67,3	71,7	70,9
<i>TURNO NOCHE</i>						
1°	20:00 a 22:30	46,6	45,3	55,5	68,2	67,5
2°	22:40 a 23:50	41,9	42,2	64,8	68,3	68,5

Tabla 3. Resultados para el Aula N° 7

(\*) Nota: En horario nocturno no se emplea el aula N° 7 por poseer mobiliario para niños de jardín. Por ello, para las mediciones que se efectuaron en ese turno, se reemplazó por el aula más próxima, en este caso el Aula N° 5.

<i>AULA N° 8</i>						
<i>MODULO</i>	<i>HORA</i>	<i>SITUACIÓN ÁULICA</i>				
		Fondo	Sil.	Alum.	Int.	Doc.
<i>TURNO MAÑANA</i>						
1°	08:00 a 09:00	60,6	56,7	65,5	70,7	72,0
3°	10:20 a 11:20	60,0	57,4	73,4	73,7	71,7
4°	11:30 a 12:30	62,3	61,0	76,1	72,0	70,7
<i>TURNO TARDE</i>						
1°	13:30 a 14:30	52,7	51,6	77,6	71,8	61,6
2°	14:40 a 15:40	54,1	50,1	84,0	78,7	70,2
4°	17:00 a 17:50	54,6	53,8	75,1	67,7	63,6
<i>TURNO NOCHE</i>						
1°	20:00 a 22:30	50,5	47,9	72,7	64,8	62,5
2°	22:40 a 23:50	48,4	45,4	65,2	69,7	61,2

Tabla 4. Resultados para el Aula N° 8

<i>AULA N° 11</i>						
<i>MODULO</i>	<i>HORA</i>	<i>SITUACIÓN ÁULICA</i>				
		Fondo	Sil.	Alum.	Int.	Doc.
<i>TURNO MAÑANA</i>						
1°	08:00 a 09:00	52,6	50,6	76,8	74,2	68,5
3°	10:20 a 11:20	53,4	56,5	74,7	77,6	69,8
4°	11:30 a 12:30	55,5	60,6	73,6	77,9	72,3
<i>TURNO TARDE</i>						
1°	13:30 a 14:30	45,8	58,0	77,9	76,4	65,0
2°	14:40 a 15:40	45,4	57,2	76,7	79,2	68,2
4°	17:00 a 17:50	46,1	51,4	73,6	73,5	61,3
<i>TURNO NOCHE</i>						
1°	20:00 a 22:30	47,4	55,0	80,6	77,1	71,5
2°	22:40 a 23:50	43,0	48,0	65,3	70,6	71,8

Tabla 5. Resultados para el Aula N° 11

AULA N° 14						
MODULO	HORA	SITUACIÓN ÁULICA				
		Fondo	Sil.	Alum.	Int.	Doc.
<i>TURNO MAÑANA</i>						
1°	08:00 a 09:00	48,4	53,6	64,9	76,6	70,7
3°	10:20 a 11:20	51,6	57,6	76,7	81,8	73,4
4°	11:30 a 12:30	57,4	58,7	72,0	80,0	69,0
<i>TURNO TARDE</i>						
1°	13:30 a 14:30	47,22	52,0	73,0	81,4	75,2
2°	14:40 a 15:40	45,76	51,1	72,9	85,1	77,8
4°	17:00 a 17:50	47,62	55,9	71,8	84,9	80,0
<i>TURNO NOCHE</i>						
1°	20:00 a 22:30	46,7	53,5	69,5	74,5	71,4
2°	22:40 a 23:50	41,7	48,1	64,4	73,0	70,1

Tabla 6. Resultados para el Aula N° 14

#### 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Del análisis de los ruidos de fondo medidos en las distintas aulas desocupadas, se puede apreciar que los ruidos van decreciendo desde el Turno Mañana hasta el Turno Noche, lo cual es compatible con el hecho de que la actividad bancaria y comercial y por ende el tránsito vehicular presenta su mayor intensidad en horas de la mañana y va decreciendo hacia la tarde y más todavía hacia la noche. Si se analizan los valores medidos en función de la ubicación de las aulas, se puede apreciar una disminución en los ruidos de fondo a medida que las aulas están más alejadas de calle de mayor tráfico, excepto para el Aula N° 1 en donde los ruidos de fondo son menores debido al apantallamiento de los ruidos que introduce la pared de cierre del patio. En el mejor de los casos, el menor valor registrado fue de 41,7 dB(A) para el Aula N° 14, una de las más alejadas de calle de mayor tránsito y en horario nocturno. El peor valor registrado fue de 63,1 dB(A) para el Aula N° 4 en horario matutino. Del análisis de los ruidos de fondo medidos en las distintas aulas en un día en el cual había actividad escolar con los alumnos y docentes en completo silencio, se constata una discrepancia con los ruidos de fondo medidos previamente. Dicha discrepancia se debe a las actividades que se desarrollan en el patio durante las horas de clase, tales como las de la asignatura Educación Física. Esta discrepancia es más evidente en las aulas de planta baja durante las horas de la tarde. El promedio de los niveles sonoros registrados en los distintos turnos para las aulas ocupadas con los alumnos en completo silencio se muestran en la siguiente tabla:

	Aula N° 1	Aula N° 4	Aula N° 7	Aula N° 8	Aula N° 11	Aula N° 14
T. Mañana	56,7	52,5	59,0	58,4	55,9	56,6
T. Tarde	45,9	53,5	54,0	51,8	55,5	53,0
T. Noche	45,9	51,0	43,8	46,6	51,5	50,8

Tabla 7. Promedio de los niveles sonoros registrados en los distintos turnos para las aulas ocupadas con los alumnos en completo silencio

En cuanto a la relación señal a ruido, RSR, si se la considera como la diferencia entre el nivel de la voz del docente y el nivel sonoro existente cuando los alumnos están en completo silencio en la mayoría de los casos supera el valor de 15 dB considerado como ideal observándose una mejora en dicha relación en horas del Turno Noche. Ahora bien, esta es una situación ideal, generalmente durante las actividades áulicas los alumnos rara vez se encuentran en completo silencio, por lo cual si se considera a la RSR como la diferencia entre el nivel de voz del docente y el nivel de los alumnos hablando la relación toma valores inaceptables, muchos de ellos negativos lo cual significa que la voz del docente es inferior a la de los alumnos hablando. Como se puede observar en la Tabla 8 durante las horas de la mañana los valores de RSR son negativos para todas las aulas. En horas de la tarde la RSR mejora para las aulas de planta baja y sigue siendo mala para las aulas de la planta alta, salvo para el Aula N° 14 que se encuentra más alejada de calle Patricias Mendocinas. En las horas de la noche la situación mejora sensiblemente para las aulas de planta baja y se mantiene del mismo modo que en horas de la tarde para las aulas de planta alta.

	PLANTA BAJA			PLANTA ALTA		
	Aula N° 1	Aula N° 4	Aula N° 7	Aula N° 8	Aula N° 11	Aula N° 14
T. Mañana	-10,2	-1,5	-0,7	-0,2	-4,8	-0,1
T. Tarde	2,9	1,7	0,8	-13,8	-11,3	5,1
T. Noche	5,5	3,9	7,9	-7,1	-1,3	3,8

Tabla 8. Promedio de las RSR en cada Aula para los distintos turnos

## 5. CONCLUSIONES

- Los niveles de los ruidos de fondo medidos con las aulas desocupadas y los medidos en las distintas aulas en un día en el cual había actividad escolar con los alumnos y docentes en completo silencio están muy por encima de los recomendados en la norma internacional [4] que establece que un aula acústicamente satisfactoria debería poseer un nivel de 40 dB(A). Las Guías para el ruido urbano, dictadas por la Organización Mundial de la Salud, establecen niveles de 35 dB(A) para aulas durante el dictado de clases [2].
- Los niveles de los ruidos medidos son mayores en horario matutino y decaen un poco hacia la tarde, que son los horarios en donde funciona en el edificio una institución escolar de EGB y disminuyen notablemente hacia la noche que es el horario en donde funciona una institución escolar de educación de adultos. Quienes más se ven perjudicados por esta situación son en consecuencia los alumnos de la EGB que paradójicamente son los más vulnerables a la contaminación acústica ya que con su limitado vocabulario y experiencia, cuando no escuchan algunas palabras del mensaje de su maestro, son menos capaces que los estudiantes de mayor edad para suplir las palabras que no han oído.

- Atendiendo a la distribución geográfica de las aulas quienes resultan más perjudicados son los alumnos de las aulas N° 1 y N° 8, que dan sobre la calle más transitada y el grado de molestia va disminuyendo a medida que las aulas se alejan de dicha arteria. El nivel de ruido ambiental supera en muchas ocasiones el nivel de emisión de la voz, no se discrimina lo que se está diciendo por lo que la voz es enmascarada por el ruido, en un alto porcentaje el nivel de ruido ambiental no permite la inteligibilidad de la palabra.
- Las aulas del edificio escolar bajo estudio, presentan serias deficiencias desde el punto de vista acústico para que se desarrollen actividades de enseñanza-aprendizaje en condiciones óptimas. Esta situación se debe a las características arquitectónicas del edificio y a su localización en una de las zonas más contaminadas desde el punto de vista acústico del microcentro de la Ciudad de Mendoza.

## REFERENCIAS

- [1] “*Prevention of noise-induced hearing loss*”, Documento de la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud), Genova, 28-30, (1997).
- [2] Berglund, B. et al., “*Guías para el ruido urbano*”, Documento de la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud), Londres, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente, OPS/CEPIS (1999).
- [3] Boschi, C. E. y Muñoz Vargas, G. E., “*Caracterización de la contaminación sonora en el microcentro de la Ciudad de Mendoza*”, Contaminación Atmosférica en Argentina – Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA, Mendoza, (2009).
- [4] ISO R - 1996 “Acoustics - Description and measurement of environmental noise”



## INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA SOBRE LA CONTAMINACIÓN SONORA EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA Y MAPAS DE RUIDO

Verzini<sup>1</sup>, A. M.; Serra<sup>1</sup>, M. R.; Ortiz Skarp<sup>1</sup>, A. H.; Petiti<sup>1</sup>, Y. I.; Henin<sup>1</sup>, C. A.;  
Maza D. A. <sup>1</sup>, Perez Villalobo<sup>1</sup>, J. y Lorenzo<sup>2</sup>, J. R.

1: Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA)  
Facultad Regional Córdoba

Universidad Tecnológica Nacional

M. M. López esq. Cruz Roja Argentina, X5016ZAA, Córdoba, Argentina

e-mail: {averzini, mserra}@scdt.frc.utn.edu.ar

web: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra/>

2: Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades  
Universidad Nacional de Córdoba

Ciudad Universitaria, Pabellón "Agustín Tosco", X5000GYA, Córdoba, Argentina

e-mail: jlorenzo@gmail.com

**Palabras clave:** Contaminación sonora, mapa de ruido, respuestas subjetivas

**Resumen.** *Se exponen los resultados de una investigación interdisciplinaria sobre la contaminación sonora en el casco céntrico de la ciudad de Córdoba. Sus objetivos fueron: 1) Relevar los niveles sonoros de la zona y elaborar mapas de ruido; 2) Indagar: a) Los problemas percibidos por las personas, producidos por dichos ruidos, b) Las relaciones entre las variables personales y contextuales con dichos problemas, y c) Las relaciones entre los niveles sonoros y las respuestas subjetivas. El ruido fue relevado con medidores de nivel sonoro de alta calidad y los datos fueron trasladados al software Cadna-A para realizar los mapas de ruido. 310 residentes respondieron a un cuestionario sobre características personales, ambientales y los problemas causados por el ruido. Los elevados niveles sonoros encontrados muestran un alto grado de contaminación acústica, cuyos efectos se revelan en la molestia e interferencias en las actividades cotidianas según expresan los habitantes de la zona. No se encontraron correlaciones entre los datos objetivos y subjetivos salvo en dos de las estrategias para evitarlo. Finalmente, los participantes reconocen el paisaje sonoro de la zona como altamente negativo.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El sonido es un componente del medio ambiente fundamental para la comunicación y el conocimiento del mundo circundante. Los nuevos paradigmas interdisciplinarios que abarcan ciencias tales como la física, la ingeniería, las ciencias sociales y humanas, medicina y arte, consideran al entorno sonoro como un paisaje sonoro (soundscape) -término creado por Schafer [1]- en el cual los sonidos son reconocidos como recursos para el logro de las aspiraciones y satisfacción de las necesidades de los seres humanos.

Sin embargo, cuando se incrementan significativamente los niveles de ruido se produce lo que se denomina contaminación sonora, con el consiguiente deterioro de la calidad del ambiente acústico, que juntamente con otra serie de problemas, muchas veces impide que el sonido

cumpla sus verdaderas funciones. Desde la perspectiva de estos nuevos paradigmas, toda investigación sobre el tema debe ser interdisciplinaria y contemplar conjuntamente las particularidades de los estímulos sonoros, las distintas características del ambiente físico general, el ser humano y sus procesos psicológicos y conductuales, los factores sociales y culturales, así como las interrelaciones entre todas estas variables.

El campo acústico de una zona urbana está compuesto por una gran diversidad de fuentes sonoras, algunas continuas y otras esporádicas o intermitentes, ya sea que estén presentes o alejadas del ambiente en que se habita. El objeto de los mapas de ruido es conocer su incidencia sobre la población en un área geográfica particular. Por lo tanto es determinante distinguir cuáles son las fuentes relevantes y su comportamiento, para proceder a construir un correcto modelo de la situación acústica existente en el sector o área de estudio. En la mayoría de las ciudades, la estructura básica de un mapa de ruido está determinada principalmente por el trazado urbanístico de sus calles y vías de tráfico principales. La presencia en estas calles de un número más o menos elevado de fuentes sonoras puntuales (vehículos) determina la existencia en la práctica de fuentes sonoras lineales orientadas a lo largo de las correspondientes líneas de tráfico, que dan lugar a la creación de un campo acústico con simetría semicilíndrica, con una atenuación de 3 decibeles por cada duplicación de la distancia; no obstante, esta forma geométrica ideal se ve fuertemente alterada por la presencia en la estructura urbana de edificios y calzadas.

El objetivo general de este trabajo fue estudiar las condiciones actuales de polución acústica en el microcentro de la ciudad de Córdoba tanto desde la perspectiva física como psico-social. Los objetivos específicos fueron: 1) Realizar un relevamiento de los niveles de ruido de la zona, obteniendo los descriptores estadísticos de ruido más utilizados y el mapa de ruido; 2) Indagar a partir de juicios subjetivos: a) los efectos que producen los distintos tipos de ruidos sobre las personas; b) cuáles son las variables modificadoras de dichos efectos; c) cuáles son los ruidos y sus fuentes más reconocidos, y 3) si existe relación entre los niveles sonoros y los juicios subjetivos sobre los efectos que producen.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1. Zona de estudio

Micro centro extendido de la Ciudad de Córdoba que abarca, perimetralmente el sector limitado por las siguientes Avenidas: Chacabuco-Maipú, Sarmiento-Humberto Primo, Figueroa Alcorta- Marcelo T. de Alvear y los Bulevares San Juan-Illía. Se relevaron todas las calles y avenidas de la zona menos las peatonales. En dicha área, un gran porcentaje de los edificios en altura son de tipo habitacional.

### 2.2. Equipamiento utilizado

#### 2.2.1. Aspecto físico

- Los niveles de ruido fueron relevados con los siguientes medidores de nivel sonoro:
  - *Medidores de nivel sonoro Clase 1*: Modelos 2250 y 2238 de Brüel & Kjaer, y Rion NL 31.
  - *Medidor de nivel sonoro Clase 2*: TES modelo 1353

Todos ellos trazables con los patrones de la Unión Europea a través del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania.

- Medidor de distancia Láser Marca Trimble/ Spectra, Mod. HD-150.

- Para el cálculo Mapa de Ruido se utilizó el Software de Predicción Acústica Cadna-A

### 2.2.2. Aspecto Psicosocial

- **Cuestionario:** Fue construido ad hoc con la modalidad auto-administrable en base a trabajos anteriores [2, 3 y 4]. Es anónimo, con preguntas abiertas y cerradas basadas en escalas tipo lickert de 5 categorías. Sus ejes de análisis son: datos socio demográficos, salud, evaluación del ambiente, molestia por ruido en general (sensibilidad al ruido), factores contaminantes del ambiente, efectos producidos por el ruido de su propia calle (RPC), estrategias de afrontamiento de los problemas que les causa el mismo y ruidos más frecuentes.
- **Muestra:** Como la mayoría de las unidades habitacionales de la zona son edificios de departamentos, se encuestó sólo a voluntarios residentes hasta el cuarto piso, resultando así 310 participantes de entre 18 y 93 años, con idéntica distribución para varones y mujeres. El 64% fueron mujeres y el nivel de estudios alcanzado por la mayoría en ambos sexos, es terciario-universitario. El estado de salud de los participantes está concentrado en las categorías bueno/muy bueno, con equivalente distribución para varones y mujeres. Aproximadamente el 60% de la muestra tiene poca o ninguna dificultad de audición.

### 2.3. Procedimiento

- **El relevamiento de los niveles sonoros** se realizó en diferentes puntos de las calles y avenidas comprendidas dentro de la zona, adoptando como referencia la Norma IRAM 4113-2:2010 [5]. Los parámetros relevados fueron: Nivel Sonoro Continuo Equivalente ( $L_{eq}$ ), Nivel de Presión Sonora máximo y mínimo ( $L_{max}$  y  $L_{min}$ ), utilizando curvas de ponderación tanto en A ( $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$ ) como en C ( $L_{Ceq}$ ,  $L_{Cmax}$ ). Mediante un Datalogger se registraron los Niveles Sonoros Instantáneos en el tiempo, y el espectro en frecuencia por banda de tercios de octava en varios puntos de medición, grabándose el ruido de cada punto relevado.

El tiempo base de medición se estableció en 15 min. para cada punto, cuidando que cubriera todas las variaciones significativas tanto en la emisión como en la propagación del ruido. Para determinar la ubicación del micrófono se tuvo en cuenta las distancias a potenciales elementos reflectivos. Por lo tanto, en las proximidades de inmuebles los puntos se situaron a 2 metros por delante de la parte más avanzada de la superficie de fachada del inmueble y a mitad de cuadra, para evitar la incidencia de los semáforos en el arranque de los vehículos. Asimismo, se evitó medir frente a paradas de colectivos, autos estacionados u otros elementos reflectivos, colocando el equipamiento de medición en el lado opuesto de la calzada en estas situaciones. La altura de emplazamiento del micrófono fue de  $(1,5 \pm 0,1)$  m sobre nivel de vereda, al borde de la calle y dirigido hacia el centro de la calzada, formando un ángulo de  $45^\circ$  respecto a la horizontal. Simultáneamente con las mediciones se realizó el conteo del número de vehículos circulantes para obtener el flujo de tránsito. Se distinguieron tres categorías de vehículos: pesados, livianos y motocicletas.

Todas las mediciones se llevaron a cabo bajo condiciones climáticas favorables y estables. En todos los casos se utilizó protector de viento para el micrófono del instrumento de medición. Las mediciones se realizaron dentro de dos horarios de referencia establecidos por la Norma

IRAM 4062:2001 [6], como:

- *Horario Diurno*: comprendido entre las 8 hs y las 20 hs
- *Horario Nocturno*: comprendido entre las 22 hs y las 6 hs.

No se consideraron los horarios entre las 6 hs y las 8 hs y entre las 20 hs y 22 hs.

Se realizó un relevamiento de las variadas alturas de los edificios, se midieron los anchos de las distintas calzadas, materiales y detalles constructivos y los anchos de las veredas a los fines de calcular las reflexiones del sonido. Todo lo expuesto se tuvo en cuenta y fue incluido para los cálculos de los niveles sonoros en el diseño del Mapa de Ruido.

- En cuanto al **relevamiento subjetivo**, los cuestionarios fueron distribuidos en todas las viviendas que cumplieran con los requisitos establecidos dentro de la zona y en las cuales se obtuvo autorización previa por parte de los administradores y/o dueños. Fueron retirados de los domicilios según el tiempo acordado para cada caso.

### 3. ANÁLISIS DE DATOS

#### 3.1. Procesamiento de los datos para realizar el Mapa de Ruido

En primer lugar, para realizar los ajustes correspondientes y poner a prueba el Software Cadna-A, se efectuó un mapa de ruido del predio de la Facultad Regional Córdoba de la UTN. Dicho software fue también utilizado para realizar el mapa de ruido de la Base Almirante Marambio de la Antártida Argentina.

A partir de los niveles medidos en la zona de estudio se elaboraron los mapas de ruido utilizando el software de predicción acústica Cadna-A. Para su modelado, mediante el software de predicción mencionado, se utilizó como base una planimetría de la Ciudad de Córdoba en formato .dxf. Se ingresaron las alturas de los edificios, así como también las dimensiones de las calles y veredas. Asimismo, se consideraron las características arquitectónicas de uno de los tramos principales: Marcelo T. de Alvear y Figueroa Alcorta. Dicho tramo, contiene un arroyo encauzado por medio de un canal, por lo cual, se representó su correspondiente depresión.

Cabe aclarar, que el modelo arquitectónico construido de la Ciudad de Córdoba para el Cadna-A es una representación simplificada. Es por ello que el tejido urbano definido por sus manzanas se representó como un único edificio con una altura igual a la elevación promedio de las construcciones existentes. Asimismo, el modelo del terreno se definió a una única altura. Posteriormente, se plasmaron las calles y avenidas comprendidas dentro del área de estudio, como las principales fuentes emisoras del ruido.

Actualmente en la Ciudad de Córdoba no existe ninguna normativa o legislación respecto a la confección de Mapas de Ruido. Consecuentemente, la configuración del software Cadna-A se fijó de acuerdo a la Directiva de la Unión Europea 2002/49/CE [7] y la ley 1540 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires [8], con las modificaciones necesarias para conseguir adaptarlas al medio local y al presente estudio. A continuación se presentan los ítems más importantes:

- *Malla de Cálculo*: se establece una malla de cálculo de 1 x 1 m.
- *Altura de la Malla de Cálculo*: Conforme a lo establecido en la normativa mencionada se sitúa a 4 metros de altura.
- *Índices de Cálculo*:  $L_{day}$  y  $L_{night}$ .
- *Método de cálculo de Carreteras*: RLS-90 Guidelines for Noise Control at Roads [9].

Se ingresaron, los valores de emisión sonora obtenidos de las mediciones en las calles

definidas en el Cadna, tanto en curva de ponderación A como en C, ambas en los horarios Diurno y Nocturno. A partir de estos datos se realizó el cálculo de cuatro mapas de ruido correspondientes al horario diurno y nocturno con ponderación A y C.

A los fines de que los mapas de ruido reflejaran las probables molestias causadas por el ruido se tomaron como referencia las “*Guías para el Ruido Urbano*” de la OMS [10]. Las Guías señalan que durante el día, pocas personas se sienten altamente perturbadas por niveles de  $L_{Aeq}$  por debajo de 55 dBA, y pocas se sienten moderadamente perturbadas con niveles de  $L_{Aeq}$  por debajo de 50 dBA. Asimismo, señalan que niveles durante la tarde y la noche deben ser 5 a 10 dB menos que durante el día.

A partir de estas definiciones se eligió en el mapa una escala de colores, a intervalos de 5 dB, para representar los niveles sonoros: rojo=niveles mayores a 55 dBA; naranja, amarillo y verde=niveles inferiores a 55 dBA. Para valores mayores, se utilizaron los colores: marrón, lila y azul (ver referencias en mapas de ruido).

La Ordenanza Municipal N° 8167 [11] de la Ciudad de Córdoba sancionada en el año 1986 para límites de ruido en distintos ámbitos, no fue tenida en cuenta para este trabajo por encontrarse desactualizada. También, existe la Norma IRAM 4062:2001 [6], que no es aplicable para evaluar la molestia provocada por el ruido de tránsito rodado, principal fuente de ruido en la zona estudiada.

### 3.2. Análisis de los datos del cuestionario

Los datos del cuestionario fueron procesados mediante diversos procedimientos: porcentajes, análisis de correspondencia simple y múltiple, correlaciones y reglas de asociación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Mediciones

En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos de las mediciones en las *calles principales* en los horarios diurno y nocturno, tanto en curva de ponderación A como C.

Calle	Altura	Horario de Medición			
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
		$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{Ceq}$ [dB]	$L_{Ceq}$ [dB]
Colón	542	75,1	71,9	85,9	79,5
	454	75,0		85,5	
	350	74,3		86,2	
	258	74,1		86,7	
	158	75,3		87,4	
	50	74,7		87,0	
Olmos	51	74,3		84,9	
	161	75,3	70,7	85,4	80,5
	245	76,3		86,5	
Gral Paz	438	74,9		88,5	
	250	74,4	68,1	87,3	80,3
	36	74,6		86,0	
Velez	153	75,7		86,0	
Sarsfield	340	76,9	70,6	88,7	78,6
San Juan	248	76,4		88,7	
	145	76,3	73,9	88,7	84,1
Illia	46	75,7		88,2	
	266	75,7	71,3	89,0	82,5

Calle	Altura	Horario de Medición			
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
		$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{Ceq}$ [dB]	$L_{Ceq}$ [dB]
Chacabuco	361	75,1	69,0	83,2	78,9
	161	74,3	69,5	85,0	77,9
Maipu	46	73,7	68,1	85,1	74,6
	262	73,0		85,1	
	466	72,4	67,6	84,6	73,6
Sarmiento	250	72,6	72,2	85,1	85,2
	70	72,2		86,5	
Humberto Primo	147	74,2		87,2	
	356	73,6	70,0	86,3	82,0
	543	74,2		88,1	
Marcelo T Alvear	359	75,3	68,5	88,3	76,7
	150	71,7		86,9	
Figueroa Alcorta	50	72,0	61,6	83,3	70,9
	240	71,7		82,9	
	458	68,9	61,9	82,0	72,5

Tabla 1: Mediciones en calles principales.

### 4.2. Mapas de ruido

En la Figura 1 se presentan los mapas de ruido en horario diurno y nocturno en ponderación A

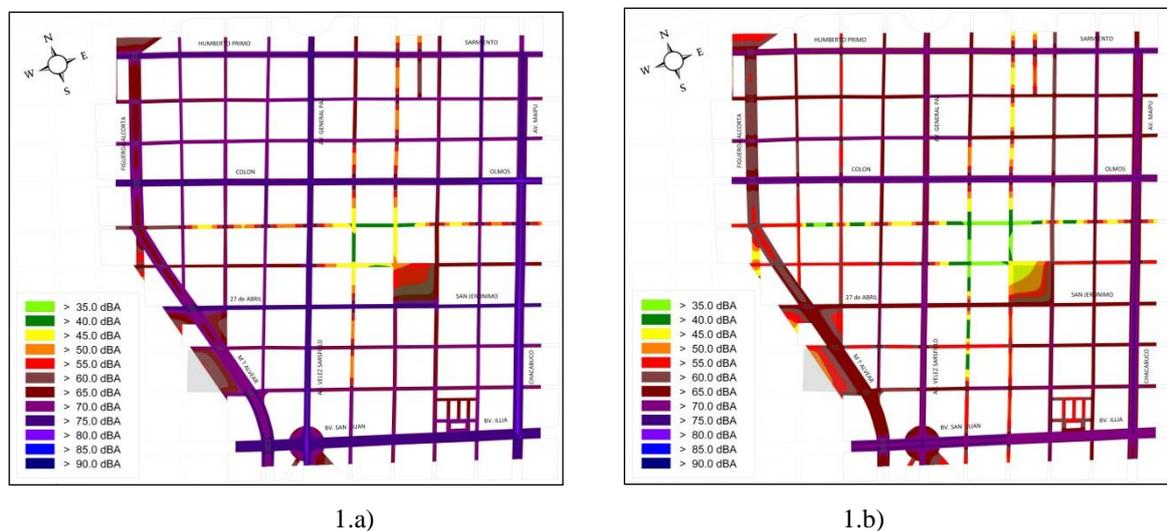


Figura 1: Mapas de Ruido de la Ciudad de Córdoba. 1.a) Horario diurno. 1.b) Horario nocturno.

### 4.3. Cuestionarios

Se describen los resultados obtenidos del análisis de los datos del cuestionario, presentándose sólo gráficos de las perturbaciones que causa el RPC y de las estrategias que utilizan las personas para defenderse del mismo, mediante juicios emitidos mediante una escala con las siguientes categorías: 1: siempre, 2: casi siempre; 3: algunas veces; 4: casi nunca; 5: nunca. Los resultados detallados pueden verse en la publicación “Evaluación de un entorno sonoro humano” [12].

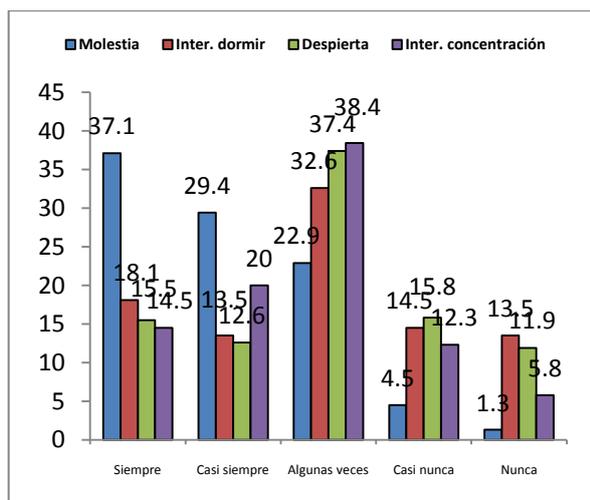


Figura 2: Distribución porcentual de la Molestia, Descanso e Interf. en la concentración por el RPC.

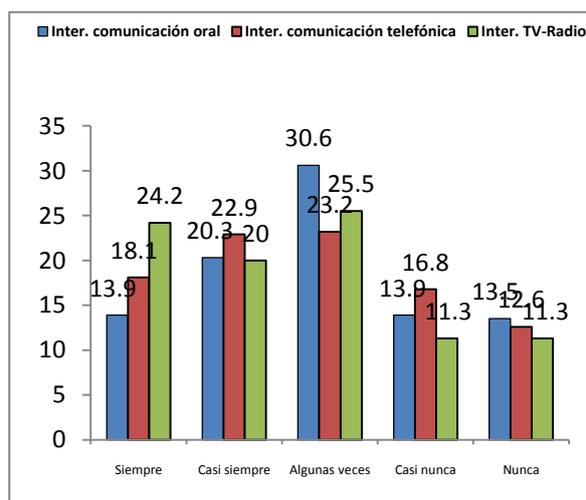


Figura 3: Distribución porcentual de las interf. en comunicación oral, telefónica y TV-Radio.

En la Figura 2 se presentan los porcentajes de las respuestas a las preguntas sobre la **frecuencia** con que el RPC les molesta, les impide conciliar el sueño, los despierta e interfiere en su concentración. El porcentaje acumulado en las tres primeras categorías (siempre, casi siempre y algunas veces) muestra que alrededor del 90% de las personas se sienten molestas por el RPC, más del 60% se ven interferidas para conciliar el sueño, alrededor del 70% se despiertan a causa del ruido. Por último, la situación es similar en la interferencia en la concentración (alrededor del 80%).

En la Figura 3, se muestran los porcentajes de las respuestas a las preguntas del cuestionario sobre la **frecuencia** con que el RPC interfiere en distintas formas de comunicación. Se puede observar que los encuestados concentran sus respuestas en las categorías siempre, casi siempre y algunas veces, siendo esta última la categoría modal. Tomando el porcentaje acumulado en dichas categorías se advierte que alrededor del 70% de los encuestados informa interferencias en la comunicación oral a causa del ruido. Casi el 70% expresa interferencias en la comunicación telefónica y se ve interferido por el ruido mientras mira televisión o escucha la radio.

Los participantes afirman protegerse o evitar el RPC mediante las siguientes acciones: a) hablar más alto, b) subir el volumen de TV o radio, c) cerrar las ventanas, d) distraerse con otra actividad, y e) dejar la casa. En la Figura 4 se muestran las distribuciones de los porcentajes de las acciones señaladas según las categorías expuestas.

Los porcentajes en la Figura 4 indican que elevar la voz para poder comunicarse tiene su categoría modal en algunas veces (34%). Subir el volumen de los artefactos de música o el televisor (38%) y cerrar ventanas (54,8%), tienen su categoría modal en siempre. Acumulando las tres primeras categorías en estas dos últimas variables, ambas alcanzan cerca del 90%. Dejar la casa y distraerse con otra actividad son acciones poco frecuentes.

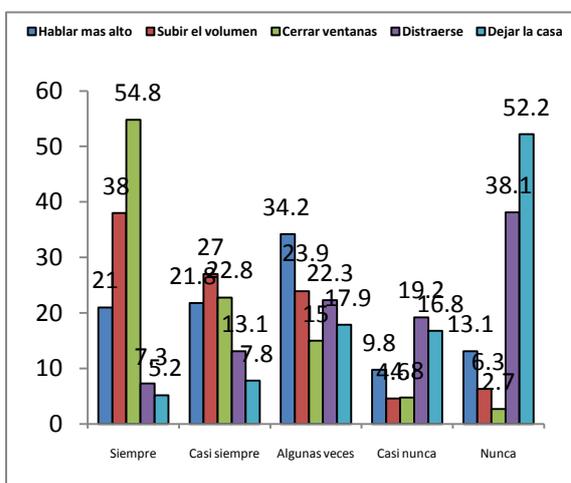


Figura 4: Distribución porcentual de las estrategias para defenderse del RPC.

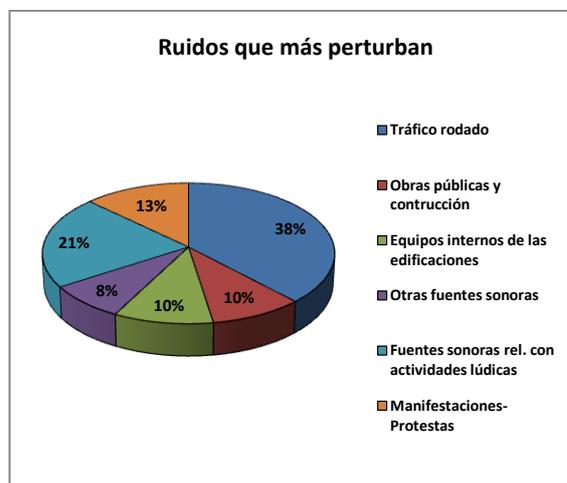


Figura 5: Distribución porcentual de ruidos que más perturban

Se realizó un análisis de correspondencias simple para reducir las categorías de las variables relacionadas con los problemas que causa el RPC, lo que dio como resultado cuatro componentes teóricamente definidos que se denominaron: a) interferencia en el descanso (conciliar el sueño y despertar, b) interferencia afectiva (molestia, irritación) y d) dificultad en

mantener un cierto nivel de concentración en una tarea (concentración y radio o TV”). Los factores interferencia en la comunicación y dificultad en la concentración, si bien representan categorías complementarias, no se presentaron agrupados.

Se encontraron correlaciones significativas entre la sensibilidad general al ruido y las siguientes variables: interferencia en el descanso ( $r_s$  0.461  $p < 0.001$ ), dimensión afectiva ( $r_s$ : 0.652  $p < 0.001$ ), interferencia en la comunicación ( $r_s$ : 0.334  $p < 0.001$ ), dificultad en la concentración ( $r_s$ : 0.51  $p < 0.001$ ). No se encontraron relaciones entre las demás variables personales y ambientales y los efectos que causa el ruido.

El procesamiento estadístico de reglas de asociación dio como resultado que las personas que tienen dificultades para conciliar el sueño a causa del ruido, serían aquellas que mayormente se despiertan por el mismo. Es de señalar que el valor de convergencia es la categoría *algunas veces*. Asimismo, las personas que suben el volumen a causa del ruido, también cierran las ventanas para evitar la interferencia provocada por el mismo; ambas estrategias convergen en el valor *siempre*.

En la Fig. 5 se graficaron las respuestas a la pregunta del cuestionario sobre los ruidos que más perturban donde se puede observar el importante predominio del ruido de tránsito (38%). Le sigue en importancia pero con porcentajes bastante menores el ruido de las actividades lúdicas, recreativas y comerciales (21%) y en menor escala, las manifestaciones y protestas, obras públicas y de construcción y equipos internos de los edificios.

En las preguntas abiertas del cuestionario los participantes consideran al ruido de la zona, como el factor de contaminación más importante y perjudicial para la salud (43%), superando a la contaminación del aire (36%). El 63% de las personas considera que el ruido es el que más contribuye a la disminución de su calidad de vida, contra un 34% de la contaminación atmosférica.

No se encontraron correlaciones, entre los problemas causados por el RPC y los niveles sonoros medidos. Respecto de las acciones que los individuos realizan para evitar el RPC, las relaciones encontrada fueron entre nivel sonoro y hablar en voz más alta ( $r=0.149$ ;  $p=0.03$ ) y nivel sonoro y cerrar ventanas ( $r=0.18$ ;  $p=0.04$ ). A pesar de que estas relaciones son de baja magnitud, indicarían que los altos niveles sonoros se mitigan principalmente por esas dos conductas.

## 5. CONCLUSIONES

En el Aspecto Físico se puede concluir que, a partir de los mapas de ruido expresados en ponderación A las calles que presentan el mayor nivel de ruido son aquellas que se definieron como principales, además de una de las calle secundaria cuyo flujo de tránsito es similar al de las anteriores. Por otra parte, y como era de esperar, se encontró una disminución en los niveles de ruido durante la noche con relación al día. En prácticamente todos los casos los niveles sonoros, en mediciones con curva de ponderación A y C, y horario Diurno y Nocturno, exceden los 55 dB definidos como límite de molestia por la OMS [10]. Las calles con menores niveles de ruido son peatonales y no fueron encuestadas, dado que los mayores niveles de ruido se dan durante las horas pico del horario comercial y disminuyendo apreciablemente en el horario nocturno.

Los resultados obtenidos del procesamiento de los juicios subjetivos emitidos en el cuestionario, dan cuenta de la importancia del ruido como fuente de malestar para los encuestados de esta zona, quienes manifiestan sufrir importantes perturbaciones en las distintas actividades cotidianas que realizan y deben desarrollar diversas estrategias para protegerse del mismo. Consideran al ruido de la zona, como el factor de contaminación más importante y perjudicial para la salud, superando a la contaminación del aire, y sostienen que es el que más contribuye a la disminución de su calidad de vida. Esto indica la gravedad de la polución sonora del casco céntrico, ya que la contaminación del aire en esa zona está considerada como muy significativa. Por otra parte, no se encontraron relaciones entre las variables personales y contextuales y los problemas que les causa el RPC. Sólo la molestia o sensibilidad al ruido en general se relacionó, como variable moderadora, con los problemas que causa el mismo.

Es probable, que la falta de correlación entre las distintas perturbaciones que causa el ruido de la propia calle y los niveles sonoros medidos, se deba a sus elevados niveles sonoros y limitada variabilidad, y a la concentración de las respuestas subjetivas en las categorías siempre y casi siempre. Por otra parte, a pesar de que las relaciones encontradas entre dos de las estrategias para evitar el RPC y los niveles sonoros son de baja magnitud, indicarían que cerrar las ventanas y hablar en voz más alta son las más utilizadas para mitigar los efectos causados por los altos niveles sonoros.

Finalmente, aunque la muestra de residentes de la zona relevada no puede ser considerada representativa de la población por no haber sido seleccionada al azar, los encuestados reconocen un paisaje sonoro prácticamente homogéneo, con la invasora presencia del tránsito vehicular como el mayor contaminante ambiental en esa área, que les produce reacciones afectivas negativas y dificulta la realización de sus actividades cotidianas y el descanso.

## REFERENCIAS

- [1] Schafer R. M., *"The Tuning of the World"*, Nueva York: Knopf, publicado nuevamente en 1994 como *The Soundscape*, Destiny books, Rochester, Vermont (1977).
- [2] Verzini A.M., Serra M. R., Ortiz Skarp A., Petiti Y.I., Lorenzo J. R., Maza D. A., Roso F., Henin C. A., López Pereyra E., Fiore, O., *"Avances de las investigaciones interdisciplinarias sobre contaminación sonora en la ciudad de Córdoba"*, VI Congreso Iberoamericano de Acústica, Buenos Aires, 5/7 noviembre (2008).
- [3] Serra M.R., Frassoni C.A., Verzini de Romera A.M., Biassoni de Serra E.C., *"An Interdisciplinary study on urban noise pollution"*, *The International Journal of Environmental Studies*, 42,201-214, (1992).
- [4] Verzini A.M., Biassoni E.C., Serra M.R., Frassoni C.A., *"An Interdisciplinary Study on Urban noise Pollution. Part II"*, *The International Journal of Environmental Studies*, Vol. 48 283-292, (1995).
- [5] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, *"Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental"*, IRAM 4113-2, (2010).
- [6] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, *"Ruidos molestos al vecindario"*, IRAM 4062, (2001).

- [7] Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, “*Evaluación y gestión del ruido ambiental*”, Directiva 2002/49/CE, (2002).
- [8] Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, “*Control de la Contaminación Acústica en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*”, LEY 1540, (2004).
- [9] German Federal Ministry of Transport, “*Guidelines for Noise Control at Roads*”, RLS-90, (1991).
- [10] World Health Organization (WHO), “*Guidelines for community noise*” Edited by Berglund, B., Lindvall, T., Scwela, D. H., (2000).
- [11] Concejo Deliberante de la Ciudad de Córdoba, “*Ruidos excesivos*”, Ordenanza N° 8167, (1986).
- [12] Petiti Y.I., Lorenzo J., Verzini A.M., “*Evaluación de un Entorno Sonoro Urbano*”, Memorias en CD del 2do Congreso Internacional de Acústica, UNTREF, (2010).

## CALIDAD DE AIRE EN EL CENTRO DE SANTA FE Y LA INFLUENCIA DEL ARBOLADO URBANO EN LA CAPTACIÓN DE CONTAMINANTES

Russillo, Sebastián\*; Ghirardi, Romina; Enrique, Claudio; Pacheco, Gustavo; Caminos, Jorge

Grupo de Estudios Sobre Energía  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavalse 610 (3000) Santa Fe, Argentina  
e-mail: gese@frsf.utn.edu.ar

**Palabras clave:** contaminación atmosférica, tránsito vehicular, arbolado urbano

**Resumen.** *La calidad del aire en las ciudades está influenciada por numerosos factores. Los árboles de espacios públicos reducen la concentración de contaminantes al secuestrar carbono e interceptar partículas y absorber dióxidos de azufre y nitrógeno. Debido a esto, se evaluaron las diferencias entre la calidad del aire en las zonas del centro de Santa Fe que se encuentran abundantemente vegetadas versus aquellas con escasa vegetación. Para ello se seleccionaron 4 esquinas con diferente vegetación y se midieron los contaminantes durante 24 hs empleando un equipo portátil que mide simultáneamente concentraciones de gases (sensores electroquímicos) y material particulado (Light Scattering.). En general existen diferencias entre la concentración de contaminantes ( $p < 0,0001$ ). Cabe destacar la  $[PM_{10}]$ , pues los dos sitios vegetados presentan niveles significativamente más bajos de  $PM_{10}$  que los que poseen escasa vegetación. En los casos en los que la relación fue inversa, como en  $[CO]$  e  $[HC]$ , puede deberse a la diferencia en flujo vehicular y en las especies vegetales presentes en cada sitio. En base a los resultados obtenidos se evidencia un importante aporte de la vegetación urbana en la calidad de aire, y la necesidad de continuar con los estudios para profundizar los análisis.*

### INTRODUCCIÓN

Los espacios verdes en general, y los urbanos particularmente en este estudio, ya sean públicos o privados, tienen una incidencia importante en la calidad de vida de las poblaciones, y juegan un rol fundamental en las regulaciones ecológicas de los impactos derivados por la dinámica social y económica en los sistemas urbanos, por lo que su mantenimiento, ampliación y mejoramiento, merecen cada día mayor atención [1]. Según Nilson y Randrup (1998) [2] la existencia de árboles en áreas urbanas ofrece la ventaja de reducir la concentración de gases de efecto invernadero al secuestrar carbono, proporcionan sombra en el verano, lo que ayuda a reducir el consumo de aire acondicionado, y ofrece protección contra el tiempo en el invierno, lo que reduce las emisiones de los sistemas de calefacción. Son capaces de interceptar partículas [3, 4] y absorber contaminantes gaseosos como los dióxidos de azufre y nitrógeno, además, la madera de árboles de lento crecimiento puede almacenar carbono por muchas décadas [5]. Los factores que afectan la remoción de la contaminación atmosférica por parte de los árboles se ven influidos por la salud de los ejemplares, el área

foliar, la concentración local de contaminantes y las condiciones ambientales (humedad, temperatura, presión atmosférica).

Los automóviles son los responsables del 55 al 95% de la contaminación atmosférica por monóxido de carbono y se estima que el 28% del monóxido de carbono presente en el aire es absorbido por las plantas. También los óxidos de nitrógeno que se forman en la cámara de combustión de los vehículos a partir del nitrógeno gaseoso (que normalmente contiene el aire que respiramos y no nos resulta tóxico) pueden ser depurados por los árboles, y ha sido estimada a partir de ciertas mediciones en una reducción teórica de alrededor del 50% [4]. Los árboles y arbustos existentes en algunas ciudades son capaces, además, de capturar cerca del 6% de las partículas menores a 10 micrones ( $PM_{10}$ ) presentes en el aire durante la primavera y alrededor del 3% en invierno [3].

La Organización Mundial de la Salud recomienda, para una vida saludable y compatible con el ambiente, que haya entre 10 y 16 m<sup>2</sup> de espacio verde público por habitante. Por tanto, se observa que la vegetación cumple un rol importante en la absorción de los diferentes contaminantes presentes en la atmósfera, y, realizando un estudio y estimación sobre dicha capacidad, se puede reorientar la planificación sobre la vegetación urbana, para aumentar la forestación y optar por las especies con mayor capacidad de absorción.

Con la finalidad de evaluar si los espacios verdes urbanos tienen algún efecto positivo en la calidad del aire en el centro de Santa Fe se evaluaron las diferencias entre la calidad del aire en las zonas del centro de Santa Fe que se encuentran abundantemente vegetadas en relación a aquellas con escasa vegetación.

## METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo propuesto se seleccionaron 4 esquinas con diferentes características en su vegetación -en cuanto a abundancia y diversidad de especies- [6, 7], que fueron clasificadas en esquinas con abundante vegetación y esquinas con escasa vegetación. En las mismas se midieron diferentes gases ( $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $HC$ ,  $O_3$ ) y material particulado ( $PM_{10}$ ) durante 24hs empleando un equipo portátil que mide simultáneamente las concentraciones de gases mediante sensores electroquímicos y material particulado mediante la técnica de Light Scattering. El equipo se encontraba protegido por un gabinete metálico y con ventilación forzada, construido para tal fin y en cada medición se posicionaba a una altura del piso aproximada de 20mts. Antes de comenzar a tomar los datos se encendía el quipo y se lo dejaba estabilizar durante 3 minutos.

Simultáneamente a la medición de gases y partículas, se registró la presión atmosférica, la temperatura ambiente, humedad, velocidad y dirección de viento mediante una estación meteorológica disponible en la Facultad Regional Santa Fe. Luego de realizadas las mediciones, los datos registrados fueron corregidos a una temperatura de 25°C y una presión atmosférica de  $1,013 \times 10^5$  Pascales.

Para evaluar las diferencias entre los sitios se clasificaron las esquinas en dos categorías: esquinas con *abundante vegetación* y esquinas con *escasa vegetación*. En base a esta caracterización se realizaron análisis de diferencias de medias de la concentración de los gases y partículas medidos con el programa GraphPad Prism 5 (versión de prueba disponible en <http://www.graphpad.com/prism/prism.htm>) [8] y se realizó el post test de Kruskal-Wallis cuando correspondía.

## RESULTADOS

En total se realizaron 7 rondas en las que se obtuvieron 1442 valores para los sitios con abundante vegetación (504 para la intersección de Av. Rivadavia y Cortada Falucho y 938 para la intersección de calles Salta y San Jerónimo) y 1876 valores para los sitios caracterizados como de escasa vegetación (1017 para la intersección de las calles 25 de Mayo y Eva Perón y 859 para la intersección de las calles 9 de Julio e Hipólito Irigoyen).

Los valores de concentración de HC son significativamente menores en las esquinas con escasa vegetación ( $p < 0,0001$ ;  $KW=63,9$ ) de la misma manera que la concentración de  $NO_2$  ( $p < 0,0001$ ;  $KW=33,3$ ). En cuanto a las partículas ( $PM_{10}$ ) cabe destacar que los promedios de concentraciones fueron significativamente ( $p < 0,0001$ ;  $KW=151$ ) menores en las esquinas vegetadas (Tabla 1).

	Abundante Vegetación		Escasa Vegetación	
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
	CO ( $p=0,0002$ ; $KW=20,1$ )			
Promedio	1,31	0,839	0,852	0,771
Desvio	1,91	0,914	0,919	0,998
	PM10 ( $p < 0,0001$ ; $KW=151$ )			
Promedio	0,0173	0,0267	0,0298	0,0294
Desvio	0,0221	0,0193	0,0241	0,0195
	SO2 ( $p < 0,0001$ ; $KW=185$ )			
Promedio	0,00995	0,000115	0,000466	0,000629
Desvio	0,0407	0,00252	0,0103	0,00815
	HC ( $p < 0,0001$ ; $KW=63,9$ )			
Promedio	0,0284	0,0222	0,0173	0,0158
Desvio	0,0647	0,0725	0,0632	0,0639
	O3 ( $p < 0,0001$ ; $KW=157$ )			
Promedio	0,0385	0,016	0,0176	0,0196
Desvio	0,038	0,0164	0,016	0,019
	NO2 ( $p < 0,0001$ ; $KW=33,3$ )			
Promedio	0,0518	0,0234	0,0238	0,0242
Desvio	0,0798	0,0867	0,0851	0,0275

Tabla 1. Detalle de los datos obtenidos para las mediciones de 24hs de gases y partículas. Se muestra el promedio, el desvío, el valor de p y el valor del estadístico de Kruskal-Wallis (KW). Las intersecciones de calles son las siguientes, Sitio 1: Av. Rivadavia y Cortada Falucho; Sitio 2: Salta y San Jerónimo; Sitio 3: 25 de Mayo y Eva Perón; Sitio 4: 9 de Julio e Hipólito Irigoyen.

En la Figura 1 y 2 se pueden observar los menores valores de concentración de partículas en las esquinas con abundante vegetación en comparación con aquellas escasamente vegetadas (Figura 1) y la situación inversa para el  $NO_2$ , gas que presentó concentraciones más altas en las esquinas con abundante vegetación (Figura 2).

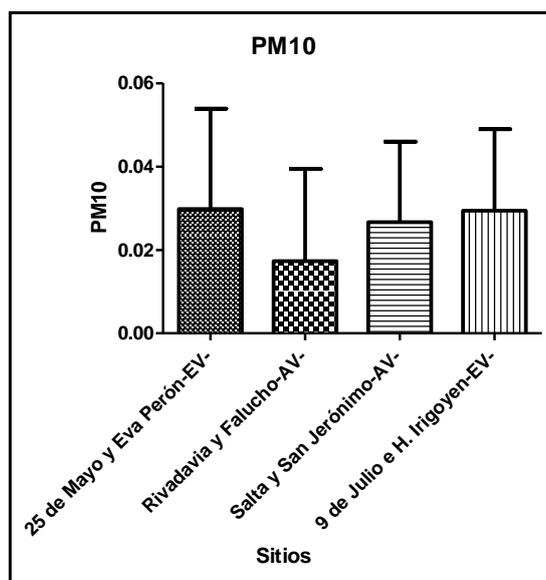


Figura 1. Detalle de los datos obtenidos para las mediciones de concentración de  $PM_{10}$  en los diferentes puntos. EV: escasa vegetación; AV: abundante vegetación.

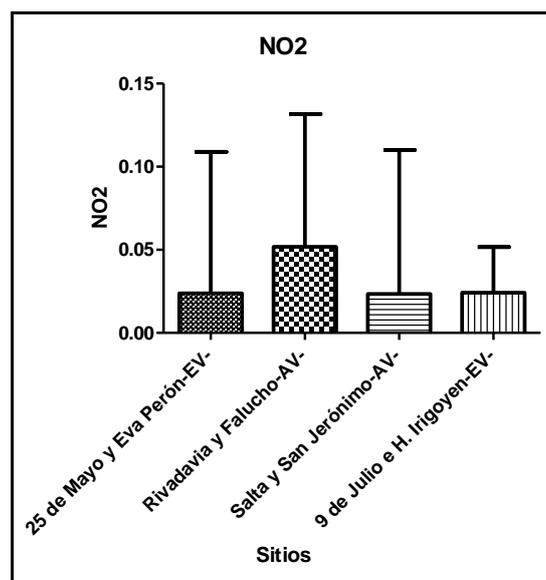


Figura 2. Detalle de los datos obtenidos para las mediciones de concentración de  $NO_2$  en los diferentes puntos. EV: escasa vegetación; AV: abundante vegetación.

Por otro lado, los resultados del análisis de Kruskal-Wallis evidenciaron diferencias significativas entre los diversos sitios. En general, las mismas se presentaban entre los sitios de abundante vegetación versus los de escasa vegetación (Tabla 2).

	Av. Rivadavia y Cortada Falucho -AV-	Salta y San Jerónimo -AV-	25 de Mayo y Eva Perón -EV-	9 de Julio e H. Irigoyen -EV-
Av. Rivadavia y Cortada Falucho -AV-	-	PM10*** SO2*** HC*** O3*** NO2***	PM10*** SO2*** HC*** O3*** NO2***	CO*** PM10*** SO2*** HC*** O3*** NO2***
Salta y San Jerónimo -AV-	-	-	-	CO* HC* O3***
25 de Mayo y Eva Perón -EV-	-	-	-	CO**
9 de Julio e H. Irigoyen -EV-	-	-	-	

Tabla 2. Detalle de la significancia de la diferencia entre los distintos sitios de muestreo. Los asteriscos representan el nivel de significancia obtenido en el test de Kruskal-Wallis. \*: significativo; \*\*: muy significativo; \*\*\*: extremadamente significativo.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

En nuestro estudio, los espacios con abundante vegetación presentaron mayores valores de carbono que aquellos con escasa vegetación. Esto puede deberse al tráfico diferencial que presentaron las esquinas, ya que en la intersección de Av. Rivadavia y Cortada Falucho funciona un banco y en la esquina siguiente las oficinas del correo central. Esta situación genera un continuo movimiento de vehículos que aportan a la emisión de CO.

Cabe destacar en este sentido que en un estudio llevado a cabo en Santiago de Chile, los 6.239.830 árboles del sitio evaluado secuestraron aproximadamente 37.713 toneladas de carbono durante el año de análisis [9].

Por otro lado, si se evidenció un significativo aporte de los árboles y arbustos en la captación de material particulado en los espacios verdes urbanos estudiados. El poder de retención de polvo por las hojas varía con la especie y las características morfo-anatómicas de la hoja (superficie expuesta y grado de pilosidad). Este efecto de retención por la vegetación es bien conocido en especies europeas, así *Abies pinsapo* (abeto rojo) retiene 32 Tn/ha en condiciones de bosque denso, mientras que *Populus* sp. (álamo) sólo 1 Tn/ha [10].

Por otro lado, en la provincia de Córdoba (Municipio de Malagueño) se pudo observar que las especies que mayor cantidad de material particulado presentaron en sus hojas fueron *Acacia caven* (aromito) y *Geoffroea decorticans* (chañar) seguidos de *Prosopis nigra* (algarrobo negro). Por el contrario, las especies en las que se registró menor cantidad de polvo fueron *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco) y *Prosopis alba* (algarrobo blanco) [11]. En nuestro área de estudio, los espacios verdes estudiados no presentan las especies antes

mencionadas, pero es de destacar que las mismas son nativas de esta región, por lo que el clima es favorable para su crecimiento.

En el mismo trabajo, Dalmasso et al. (2007) [11] destacan a *Acacia caven*, *Geoffroea decorticans* y *Prosopis nigra* como las especies que presentaron una mejor capacidad de retener en su follaje el polvo atmosférico. En una capacidad intermedia ubican a *Eucaliptus viminalis*, *Celtis tala* y *Schinus fasciculatus*. Se considera a *Prosopis alba*, *Aspidosperma quebracho blanco* y *Eucaliptus camaldulensis* como especies con características de escasa retención del polvo atmosférico. En uno de los sitios de abundante vegetación analizados para este estudio, se encuentra la especie *Shinus molle* var. *areira*, una especie emparentada que sería favorable para la captación de polvo atmosférico.

Si salimos del país, se han realizado algunos estudios en los que se calculó que en Chile, por ejemplo, los árboles y arbustos capturan anualmente alrededor de 37 mil toneladas de dióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero, responsable del calentamiento global que afecta al planeta. También recogen cerca de 2.300 toneladas de material particulado, 115 toneladas de monóxido de carbono, 851 toneladas de ozono urbano, 321 toneladas de dióxido de nitrógeno y 211 de dióxido de azufre, entre otros contaminantes [9].

Como se puede observar, la influencia del arbolado urbano en la calidad del aire mediante la captación de gases y partículas contaminantes tiene un efecto positivo, lo que coincide con la afirmación de numerosos autores [e.g. 12, 13].

Satisfactoriamente, los resultados obtenidos en esta etapa del trabajo en Santa Fe coinciden con los obtenidos en otros estudios realizados en diversas regiones del país y del exterior, para algunas de las especies que compartimos. Esto evidencia la necesidad de continuar con estudios más profundos y extensos en tiempo y espacio, incluyendo además variables ambientales y biológicas que puedan estar influyendo en la capacidad de los árboles para absorber los contaminantes como afirman Yessi et al. (2002) [14].

Considerando que los resultados obtenidos para otros sitios con las mismas especies o especies arbóreas emparentadas son similares, los mismos son aplicables a nuestra región, pudiendo así realizar un manejo adecuado del arbolado urbano, con datos experimentales que sugieran las especies más favorables en lo que a absorción de contaminantes se refiere.

### **Alternativas de manejo de los espacios verdes urbanos**

- Incrementar el número de ejemplares saludables y de gran porte en los espacios verdes (para incrementar la absorción de CO) y mantenerlos en ese estado (tienen mejores efectos individuales) y plantar árboles perennes para reducir los niveles de material particulado (proveen remoción durante todo el año).
- Plantar especies longevas y usar su madera para productos duraderos (para evitar las emisiones de carbono por descomposición forestal)
- Utilizar árboles que requieran poco mantenimiento y estén adaptados a las zonas urbanas (reduce la contaminación atmosférica por las actividades de mantenimiento) y minimizar el uso de combustibles fósiles en el mantenimiento del arbolado público

### **REFERENCIAS**

- [1] Alcalá, J., Sosa M., Moreno M., Quintana C., Campos A. y Holguin C., “Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable:

- ciudad de Chihuahua, México*”, *Multequina* Vol **17**, 17-28, (2008)
- [2] Nilson, K. y Randrup, T. B. *Silvicultura urbana y periurbana*. Actas del XI Congreso Forestal Mundial **1**: 87-101,(988)
- [3] Gutiérrez, P., *Silvicultura Urbana. Manual técnico sobre parques urbanos*. Ed. MINVU U. E., CONAMA. 100pp, (1997).
- [4] Wiesner, D., “*Metodología para la identificación de la arborización. Memoria de foro*”. Arborización Urbana Bogota DC. Alcaldía Mayor de Bogota DC. Colombia. 50pp. (2000).
- [5] Nowak, D. y McPherson, E., “*Cuantificación del impacto ambiental de los árboles de Chicago*”. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales *Aunasyuva*, N° 173 Vol. **44**, (1993).
- [6] Dimitri, M. J. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo I. Descripción de las plantas cultivadas*. Primer volumen. 3ª edición. Editorial ACME S.A.C.I., Buenos Aires, Argentina, 1-656, (1978).
- [7] Dimitri, M. J. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo I. Descripción de las plantas cultivadas*. Segundo volumen. 3ª edición. Editorial ACME S.A.C.I., Buenos Aires, Argentina, 657-1163, (1978).
- [8] GraphPad Prism 5 software. <http://www.graphpad.com/prism/prism.htm>
- [9] Escobedo, F.; Hernández, J.; de la Maza, C.; Rodríguez, M.; Nowak, D. y Crane, D., “*Determinando los efectos del arbolado urbano sobre la calidad del aire. Caso Santiago de Chile*”. Seminario internacional: Funciones y valores del arbolado urbano. Proyecto FONDEF D00I1078, (2004).
- [10] Pesson, P., *Ecología Forestal. El bosque: clima, suelo, árboles, fauna*. Mundiprensa (Ed.). Madrid. España, (1978).
- [11] Dalmaso, A., Candia, G y Llera, J., “*La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico*”. *Multequina* Vol **6**, 91-97, (1997).
- [12] Hosker, R. P. y Lindberg, S. E., “*Review: atmospheric deposition and plant assimilation of gases and particles*”. *Atmospheric Environment*. Vol **16**, pp. 889-910, (1982).
- [13] Nowak, D.J., “*Atmospheric carbon reduction by urban trees*”. *Journal of Environmental Management*. Vol **37**, pp. 207-217, (1993).
- [14] Yessi, A., Kjellström T., De Kok T. y Guidotti T.L., *Salud Ambiental Básica*. Red de Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México (2002).



# ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL PARTICULADO SÓLIDO EN SUSPENSIÓN SEGÚN TAMAÑO EN EL ARBOLADO URBANO DE SAN JUAN Y MENDOZA

Moreno<sup>1</sup>, G. y Martínez Carretero<sup>1,2</sup>, E.

<sup>1</sup>: Geobotánica y Fitogeografía. IADIZA. CONICET.  
CC 507. 5500 Mendoza

gmoreno@mendoza-conicet.gob.ar

<sup>2</sup>: Departamento de Biología. Facultad Cs. Ex., F. y Nat. UNSJ  
mcarrete@mendoza-conicet.gob.ar

**Palabras clave:** particulado, diámetro, urbano

**Resumen.** *Las ciudades de San Juan y Mendoza poseen condiciones meteorológicas propicias para elevadas concentraciones de partículas en suspensión. En ambientes áridos el lavado de partículas del follaje es infrecuente de manera que la vegetación, principalmente de hoja caduca como Morus alba, permite evaluar la contaminación del aire urbano. En este trabajo se evaluó la frecuencia de tamaños de partículas sedimentadas, considerando época del año (primavera, verano, otoño) y un gradiente de urbanización (residencial, periurbano y microcentro), en hojas de M. alba mediante la observación con microscopio óptico OLYMPUS BX-51 con aumento 40X, con reglilla micrométrica de 1 mm de longitud. Se analizaron hojas de 10 árboles elegidos al azar en cada área. En general, en ambas provincias, se observa un aumento en la frecuencia media de material particulado sedimentado hacia el otoño. En ambas provincias las partículas de 2 a 5 µm resultaron dominantes.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades de San Juan y Mendoza poseen condiciones meteorológicas propicias para elevadas concentraciones de partículas en suspensión. Las partículas en la atmósfera varían en forma y tamaño, desde submicrón a visibles como granos de polen y arena. El tamaño de la partícula está en relación directa con su *diámetro* (físico o geométrico) o en relación con un diámetro equivalente referido a alguna propiedad eléctrica, óptica o aerodinámica. Se reconocen dos tipos de partículas: las sedimentables (5 y 100 µm o mayores) que se depositan cerca de la fuente de emisión, y las en suspensión ( $\leq 5$  µm) que tienden a formar suspensiones relativamente estables en la atmósfera [1]. Las partículas menores a 2 o 3 µm corresponden a la fracción “fina”. Estudios epidemiológicos indican que las partículas muy finas tienen un impacto considerable sobre la salud humana, aún en concentraciones bajas [2,3]. Las partículas finas pueden permanecer largo tiempo en la atmósfera y eventualmente depositarse, mientras que las partículas de mayor tamaño se depositan más cerca de la fuente de emisión. Los estudios de contaminación por partículas en suspensión resultan escasos en las regiones áridas de la Argentina. En este trabajo se estudia la distribución espacial y temporal del particulado sólido en suspensión según tamaño de partícula en el arbolado urbano de las provincias de San Juan y Mendoza.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1 Diseño experimental

Se evaluó la frecuencia de tamaños de partículas sedimentadas, considerando época del año (primavera, verano, otoño) y un gradiente de urbanización (residencial, periurbano y microcentro), en hojas de *M. alba* mediante la observación con microscopio óptico OLYMPUS BX-51 con aumento 40X, con reglilla micrométrica de 1 mm de longitud. Se analizaron hojas de 10 árboles elegidos al azar en cada área. Resultando 27 filtros para Mendoza y 18 para San Juan, con dos muestras por filtro y 3 campos de lectura por muestra. Para el conteo de partículas, las mismas fueron agrupadas por frecuencias de tamaños: 2-5  $\mu\text{m}$ , 6-10  $\mu\text{m}$ , 11-18  $\mu\text{m}$  y  $\geq 19 \mu\text{m}$  (Figura 1).

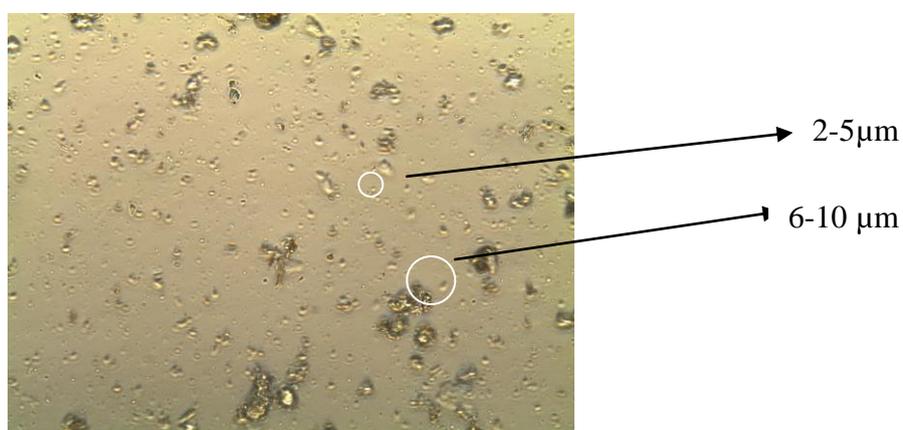


Figura 1. Partículas finas sedimentadas en otoño, provincia de San Juan, la imagen de una porción de campo

## 3. RESULTADOS

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante ANOVA y test de Tukey para comparación de medias a un nivel de probabilidad menor al 0.05, con el programa STATISTICA 9. Para cumplir con el precepto de normalidad y homogeneidad de los datos, los mismos fueron transformados mediante la función logaritmo natural. Se analizó cada frecuencia de tamaño por separado, teniendo en cuenta los diferentes factores: época del año (primavera, verano, otoño) y ubicación (residencial, periurbano y microcentro).

### 3.1 San Juan

Teniendo en cuenta las partículas de 2 a 5  $\mu\text{m}$ , los valores resultaron estadísticamente diferentes según la época del año. Sólo en primavera y verano, microcentro y suburbano difirieron (Figura 2). Para las partículas de 11 a 18  $\mu\text{m}$  no se encontraron diferencias estadísticas entre microcentro y suburbano según época del año. Si difirió primavera-suburbano de otoño-suburbano ( $p < 0,05$ ) (Figura 4). Teniendo en cuenta las partículas  $\geq 19 \mu\text{m}$  los valores no resultaron estadísticamente diferentes entre época del año y ubicación ( $p < 0,05$ ) (Figura 5)

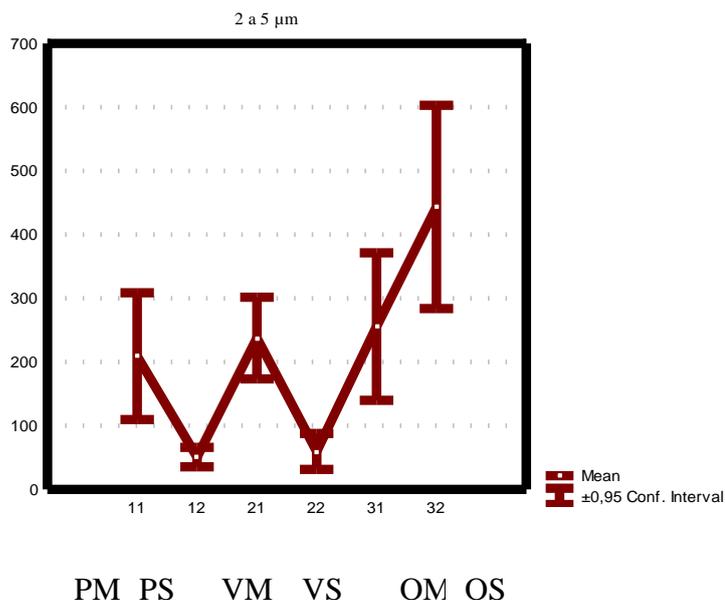


Figura 2. Distribución de partículas de 2 a 5 µm según ubicación y época del año para San Juan. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; OM: otoño-microcentro; OS: otoño-suburbano

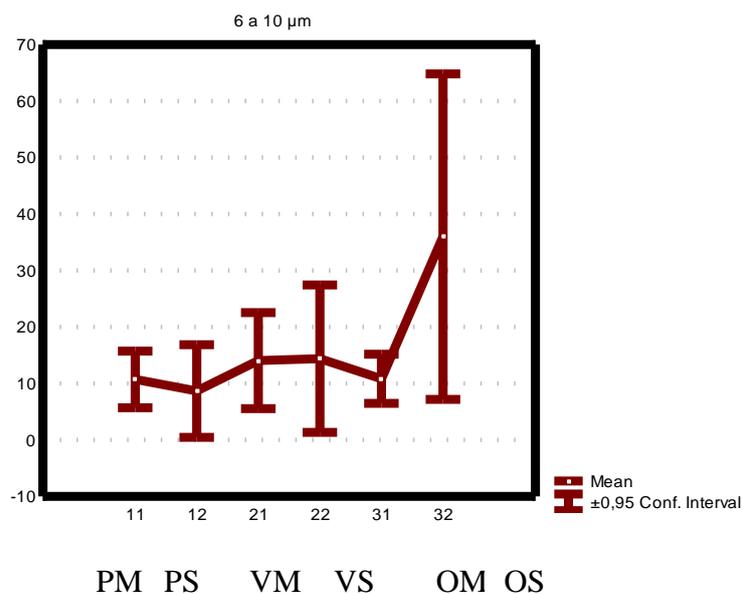


Figura 3. Distribución de partículas de 6 a 10 µm según ubicación y época del año para San Juan. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; OM: otoño-microcentro; OS: otoño-suburbano

### 3.2 Mendoza

En la provincia de Mendoza las partículas de 2 a 5 µm resultaron estadísticamente diferentes entre las distintas épocas del año. En otoño y primavera, microcentro, suburbano y periurbano no mostraron diferencias estadísticas, mientras que en verano, suburbano difirió de periurbano y microcentro que no se diferenciaron entre ellos. Los mayores valores medios se registraron en el

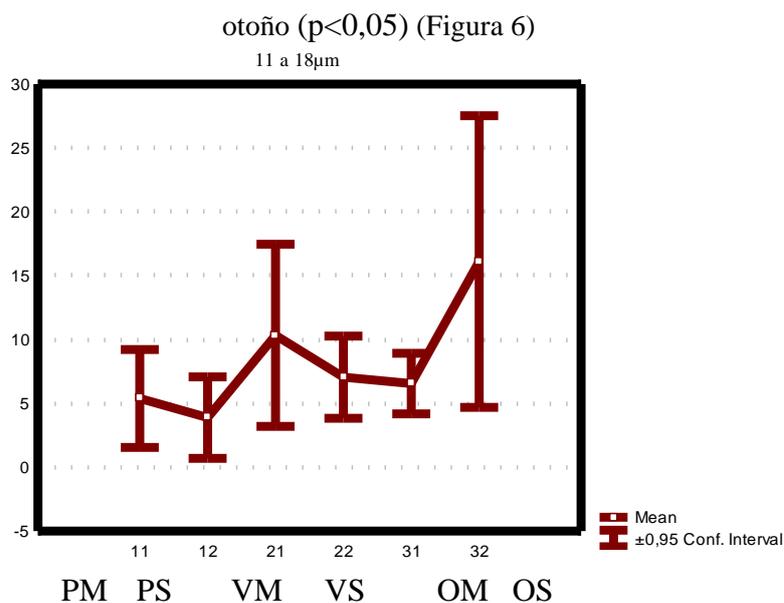


Figura 4. Distribución de partículas de 11 a 18  $\mu\text{m}$  según ubicación y época del año para San Juan. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; OM: otoño-microcentro; OS: otoño-suburbano

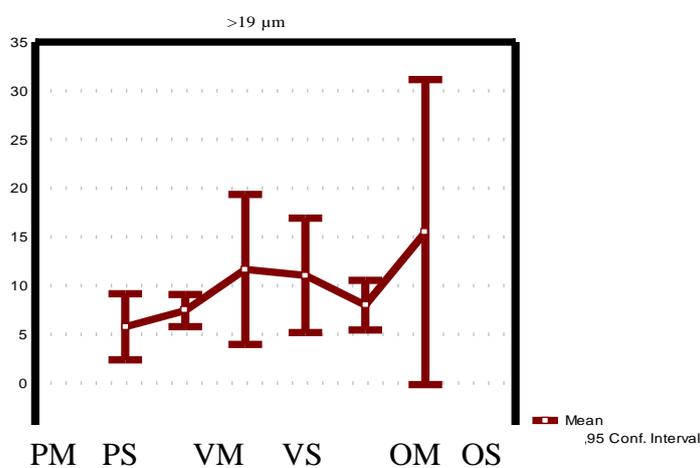


Figura 5. Distribución de partículas  $\geq 19 \mu\text{m}$  según ubicación y época del año para San Juan. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; OM: otoño-microcentro; OS: otoño-suburbano

Para las partículas de 6 a 10  $\mu\text{m}$  se encontraron diferencias estadísticas entre épocas. Las ubicaciones (microcentro, suburbano y periurbano) no difirieron en verano y otoño, mientras que en primavera, sólo el suburbano se diferenció de microcentro. (Figura 7)

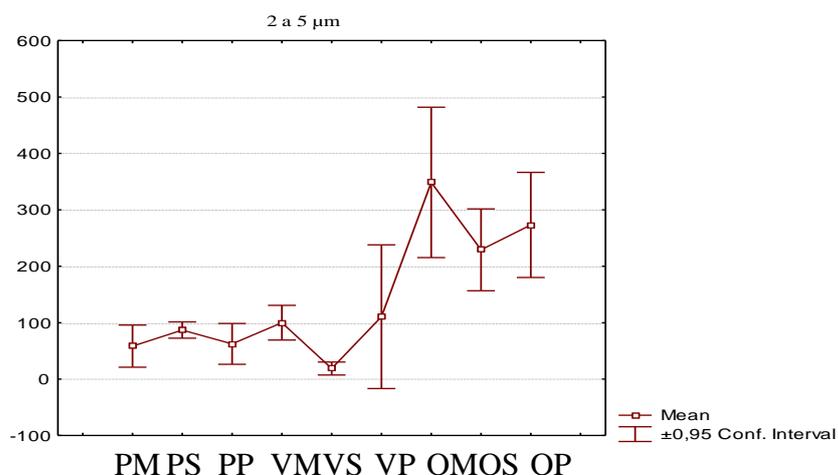


Figura 6. Distribución de partículas de 2 a 5 µm según ubicación y época del año para Mendoza. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; PP: primavera-periurbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; VP: verano-periurbano; OM: otoño- microcentro; OS: otoño-suburbano; OP: otoño-periurbano

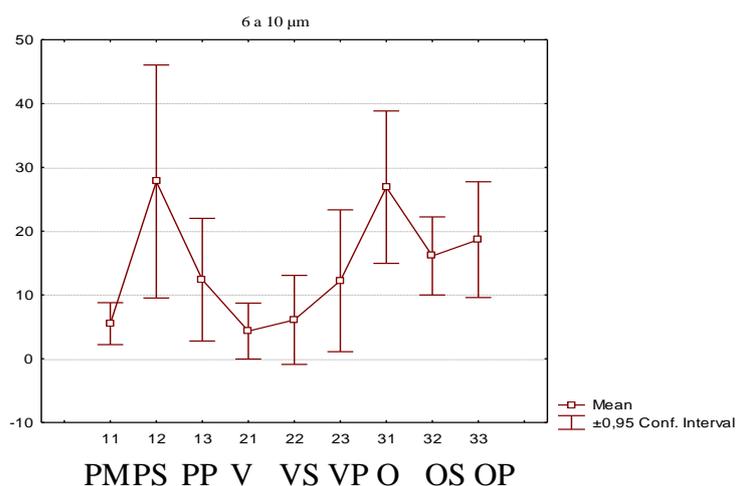


Figura 7. Distribución de partículas de 6 a 10 µm según ubicación y época del año para Mendoza. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; PP: primavera-periurbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; VP: verano-periurbano; OM: otoño- microcentro; OS: otoño-suburbano; OP: otoño-periurbano

Las partículas de 11 a 18 µm se diferenciaron según época del año. En verano y otoño no mostraron diferencias entre ubicaciones, mientras que en primavera suburbano se diferenció de microcentro y periurbano que no difirieron entre ellos (Figura 8).

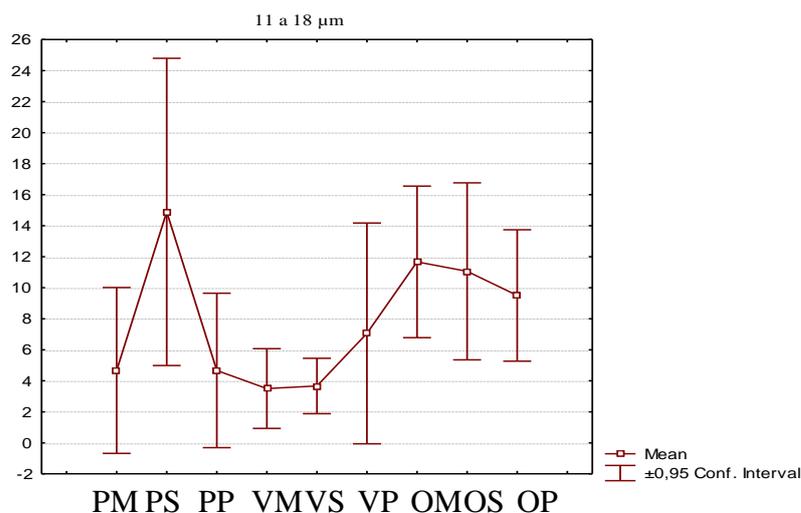


Figura 8. Distribución de las partículas de 11 a 18 µm según ubicación y época del año para Mendoza. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; PP: primavera-periurbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; VP: verano-periurbano; OM: otoño- microcentro; OS: otoño-suburbano; OP: otoño-periurbano

Teniendo en cuenta las partículas  $\geq 19$  µm los valores no resultaron estadísticamente diferentes según época del año y ubicación ( $p < 0,05$ ) (Figura 9).

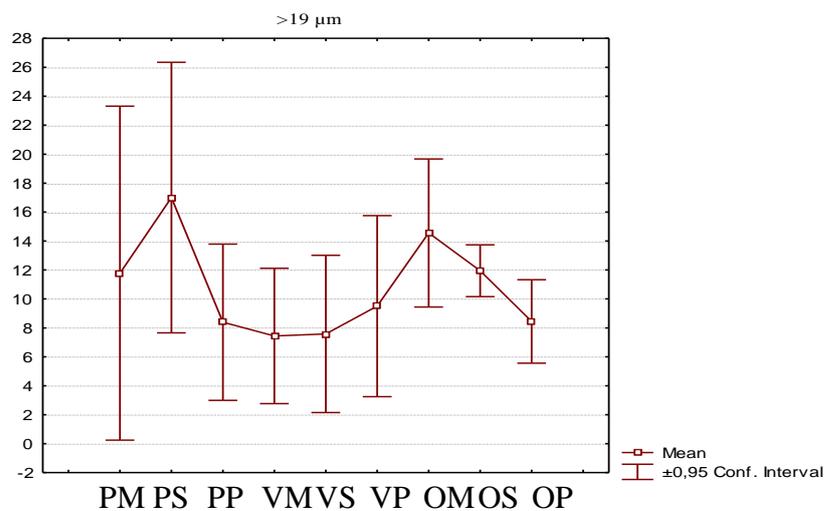


Figura 9. Distribución de partículas  $\geq 19$  µm según ubicación y época del año para Mendoza. Donde PM: primavera-microcentro; PS: primavera-suburbano; PP: primavera-periurbano; VM: verano-microcentro; VS: verano-suburbano; VP: verano-periurbano; OM: otoño- microcentro; OS: otoño-suburbano; OP: otoño-periurbano

### 3.3 Comparación del tamaño de partícula sedimentada en San Juan y Mendoza (frecuencias acumuladas)

Las partículas de los diferentes tamaños se compararon teniendo en cuenta tres factores: provincia (San Juan- Mendoza), época del año (primavera-verano-otoño) y ubicación

(microcentro-suburbano-periurbano). Para la comparación entre provincias se omitió el sector periurbano de Mendoza por no estar este factor presente en el muestreo de San Juan.

Las partículas de 2 a 5  $\mu\text{m}$  difirieron estadísticamente entre provincias, época del año y ubicación, sólo en otoño microcentro no difirió de suburbano ( $p < 0,05$ ). El microcentro de ambas provincias se diferenció estadísticamente en primavera y verano. Teniendo en cuenta el suburbano, sólo verano mostró diferencias significativas (Figura 10).

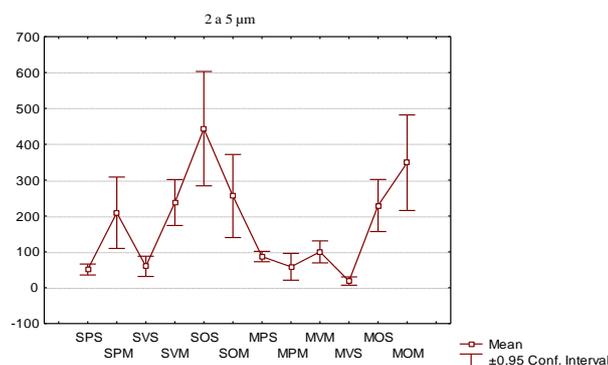


Figura 10. Partículas finas (2 a 5  $\mu\text{m}$ ) sedimentadas según ubicación y época del año en San Juan y Mendoza. Donde: SPM: SJ-primavera-microcentro; SPS: SJ-primavera-suburbano; SVM: SJ-verano-microcentro; SVS: SJ-verano-suburbano; SOM: SJ-otoño-microcentro; SOS: SJ-otoño-suburbano; MPM: Mza-primavera-microcentro; MPS: Mza-primavera-suburbano; MVM: Mza-verano-microcentro; MVS: Mza-verano-suburbano; MOM: Mza-otoño- microcentro; MOS: Mza-otoño-suburbano

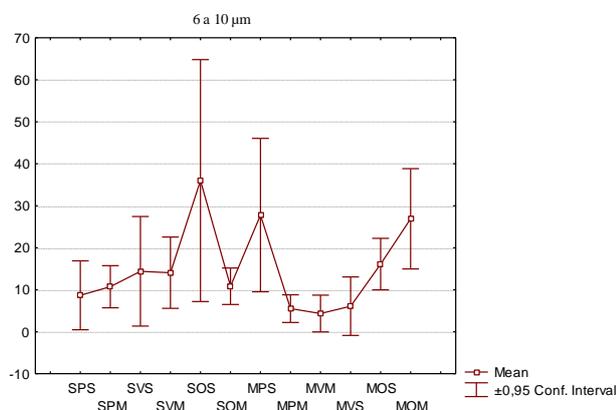


Figura 11 Partículas de 6 a 10  $\mu\text{m}$  sedimentadas según ubicación y época del año en San Juan y Mendoza. Donde: SPM: SJ-primavera-microcentro; SPS: SJ-primavera-suburbano; SVM: SJ-verano-microcentro; SVS: SJ-verano-suburbano; SOM: SJ-otoño-microcentro; SOS: SJ-otoño-suburbano; MPM: Mza-primavera-microcentro; MPS: Mza-primavera-suburbano; MVM: Mza-verano-microcentro; MVS: Mza-verano-suburbano; MOM: Mza-otoño- microcentro; MOS: Mza-otoño-suburbano

La frecuencia de partículas de 6 a 10  $\mu\text{m}$  no difirió estadísticamente entre provincias; mientras que según época sí. En Mendoza primavera-microcentro se diferenció estadísticamente de suburbano ( $p < 0,05$ ) (Figura 11). Para la frecuencia de partículas de 11 a 18  $\mu\text{m}$  la época del año si difirió estadísticamente, mientras que no hubo diferencias entre provincias y entre ubicaciones, sólo en Mendoza-primavera el suburbano se diferenció del microcentro.

Comparando los microcentros y los sectores suburbanos de San Juan y Mendoza no se evidenciaron diferencias significativas según época del año, excepto primavera- suburbano ( $p < 0,05$ ) (Figura 12).

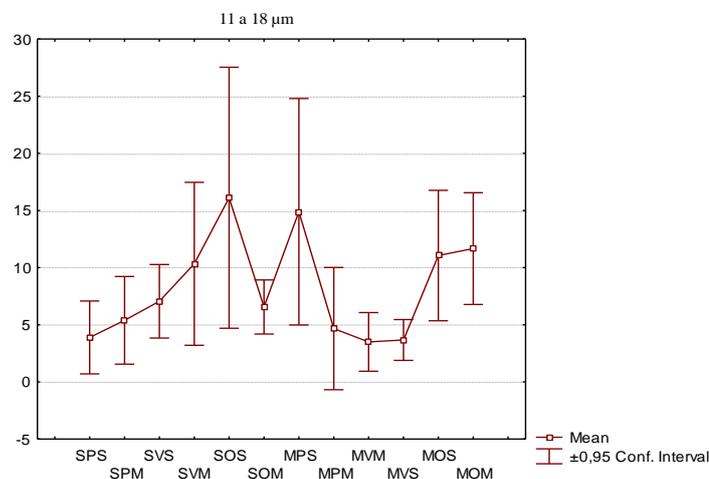


Figura 12. Partículas de 11 a 18 µm sedimentadas según ubicación y época del año en San Juan y Mendoza. Donde: SPM: SJ-primavera-microcentro; SPS: SJ-primavera-suburbano; SVM: SJ-verano-microcentro; SVS: SJ-verano-suburbano; SOM: SJ-otoño-microcentro; SOS: SJ-otoño-suburbano; MPM: Mza-primavera-microcentro; MPS: Mza-primavera-suburbano; MVM: Mza-verano-microcentro; MVS: Mza-verano-suburbano; MOM: Mza-otoño- microcentro; MOS: Mza-otoño-suburbano

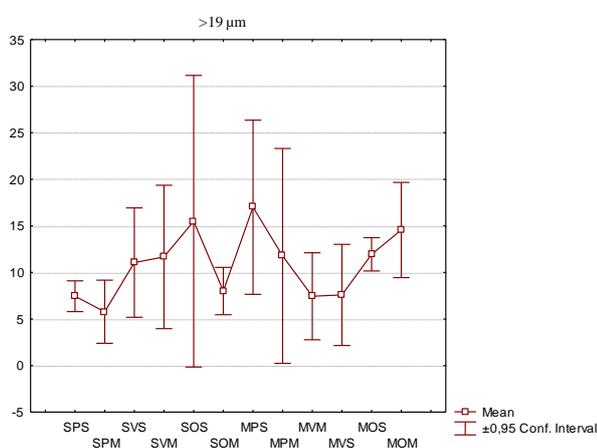


Figura 13 Partículas  $\geq 19$  µm sedimentadas según ubicación y época del año en San Juan y Mendoza. Donde: SPM: SJ-primavera-microcentro; SPS: SJ-primavera-suburbano; SVM: SJ-verano-microcentro; SVS: SJ-verano-suburbano; SOM: SJ-otoño-microcentro; SOS: SJ-otoño-suburbano; MPM: Mza-primavera-microcentro; MPS: Mza-primavera-suburbano; MVM: Mza-verano-microcentro; MVS: Mza-verano-suburbano; MOM: Mza-otoño- microcentro; MOS: Mza-otoño-suburbano

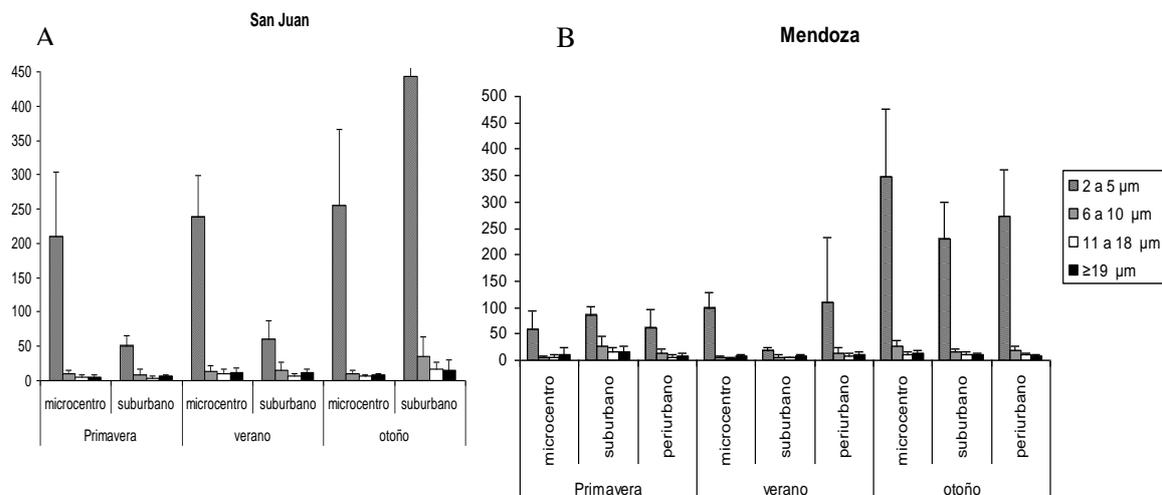


Figura 14. Distribución de partículas por tamaño según ubicación, época del año en San Juan (A), Mendoza (B)

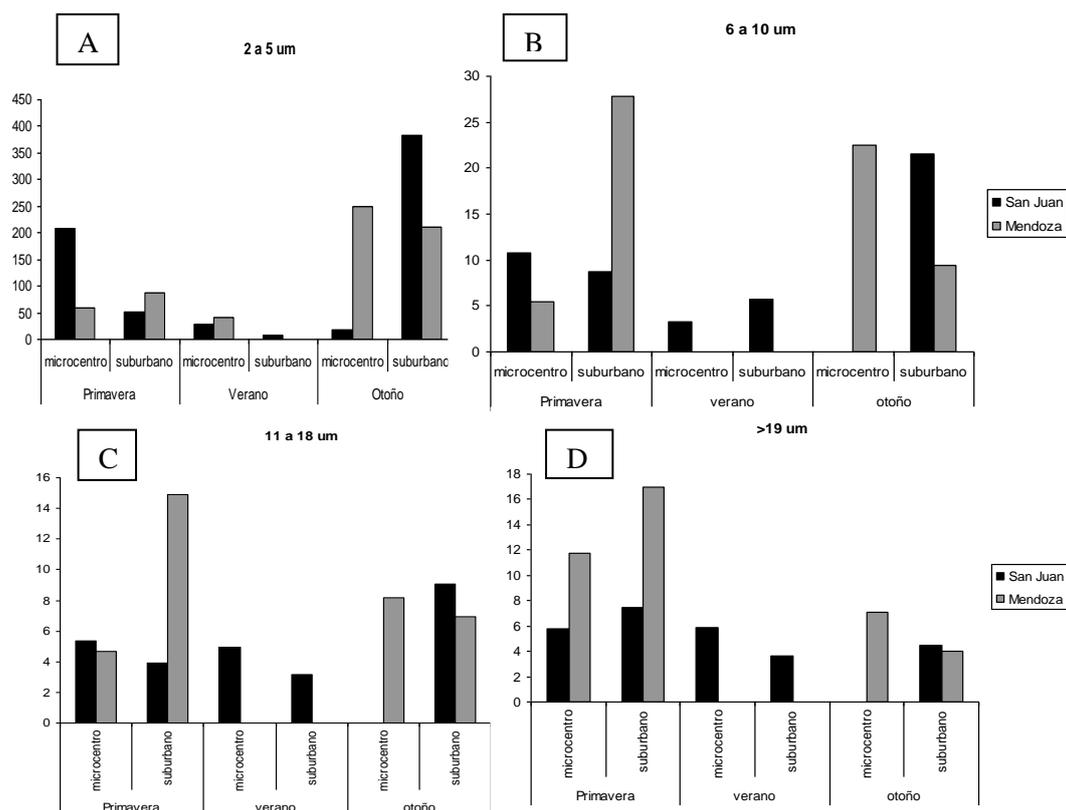


Figura 15. Comparación entre provincias teniendo en cuenta los incrementos de partículas por tamaño según ubicación y época del año. Donde A: 2 a 5 µm, B: 6 a 10 µm, C: 11 a 18 µm, D: ≥19 µm

La frecuencia de partículas  $\geq 19 \mu\text{m}$  no mostró diferencias significativas entre provincias, época del año y ubicaciones. Excepto San Juan-primavera microcentro se diferenció de Mendoza- primavera suburbano ( $p < 0,05$ ) (Figura 13). En ambas provincias se puede observar una dominancia de partículas finas (2 a 5  $\mu\text{m}$ ) (Figura 14) Teniendo en cuenta los incrementos estacionales de material sedimentado según ubicaciones y época del año, se observa en general una marcada disminución en verano y un incremento en otoño para todos los diámetros analizados. En el microcentro de San Juan las partículas mayores a 5  $\mu\text{m}$  no ocurren en otoño (Figura 15).

#### 4. DISCUSIÓN

La frecuencia media de los diferentes tamaños de partículas mostró variaciones entre los sitios y las épocas del año. En general, en ambas provincias, se observa un aumento en la frecuencia media de material particulado sedimentado hacia otoño. Sin embargo, teniendo en cuenta los incrementos de material sedimentado por tamaño de partícula se observa en general una disminución en verano, mientras que en otoño los valores aumentan considerablemente. Este fenómeno puede deberse a las lluvias estivales en que lavan gran parte del material sedimentado en las hojas.

En ambas provincias las partículas más finas (2 a 5  $\mu\text{m}$ ) resultaron dominantes con respecto al resto, lo cual puede deberse a la importante incidencia de los vientos secos (Zonda) que transportan grandes cantidades de limo y arcillas en suspensión. Resultados similares fueron encontrados por [4] en Taiwán, donde los niveles de partículas PM<sub>2,5</sub> fueron los más altos y en invierno, principalmente por la combustión de motores.

#### 5. REFERENCIAS

- [1]. Martínez Carretero, E. y Moreno, G. Estudio de caso: Sedimentación atmosférica seca y biomonitorio en hojas de *Morus alba* L. en la ciudad de San Juan (Argentina). En: M. A. Castro y A. M. Faggi (Comp.) *Bioindicadores de la contaminación ambiental*. 1ª ed. Dunken. Buenos Aires.89-110pp (2008).
- [2]. Campos, A., Alcaraz, G. I., Herrera, E. F, Sosa. M., Jiménez, J., Delgado, M., Ramírez, E. Y Puga, S. Análisis temporal de las concentraciones, distribución de tamaño y morfología de partículas suspendidas menores a 10 micras en la ciudad de Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (1): 44-51 (2007).
- [3]. Gomiscek, B., Hauck, H., Stopper, S., Preining, O. Spatial and temporal variations of PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and particle number concentration during the AUPHEP—project. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 3917–3934 (2004).
- [4]. Mei-Lien, Chen, I-Fang, Mao, I-Kai, Lin. The PM and PM particles in urban areas of Taiwan. *The Science of the Total Environment* 226 \_1999. 227-235 (1999).

## ESTUDIO SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA PLATA

Reyna Almandos<sup>1,2\*</sup>, Jorge; Arrieta<sup>2</sup>, Nora; Sacchetto<sup>2</sup>, Víctor; Garcimuño<sup>3</sup>, Mayra;  
Bertucelli<sup>3</sup>, Graciela; Orte<sup>3</sup>, Marcos y Santágata<sup>4</sup>, Daniela

1: Centro de Investigaciones Ópticas, CIOp (CONICET-CIC)  
Camino Centenario e/ 505 y 508, La Plata  
jreyna@ciop.unlp.edu.ar, web: <http://www.ciop.unlp.edu.ar>

2: Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
Calle 60 y 124, La Plata  
noranarrieta@hotmail.com, vss@frlp.utn.edu.ar, web: <http://www.frlp.utn.edu.ar>

3: Departamento de Ciencias Físicas y Ambientales  
Facultad de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires  
Pinto 399, Tandil  
mayragarcimuno@gmail.com, gbertucc@exa.unicen.edu.ar, ortemarcos1@gmail.com  
web: <http://www.unicen.edu.ar>

4: Gerencia Química  
Centro Atómico Constituyentes  
Comisión Nacional de Energía Atómica  
Avda Gral Paz 1499, San Martín  
dm\_santagata@yahoo.es, web: <http://www.cnea.gov.ar/cac>

**Palabras clave:** Aerosoles, PM10, SO<sub>2</sub>

**Resumen.** *El estudio y medición de la concentración de contaminantes atmosféricos cercana al Polo Petroquímico de La Plata se realiza desde hace varios años en la UTN-FRLP. Se cuenta entonces con gran cantidad de datos de SO<sub>2</sub> obtenidos midiendo la fluorescencia en UV de este gas, así como mediante la aplicación de la técnica espectrofotométrica - método ASTM 2914-01. En este trabajo se presentan resultados sobre el estudio de aerosoles, PM10 y SO<sub>2</sub> en dicha región. Fue utilizado un radiómetro MICROTOPS II para la determinación de la concentración de aerosoles, y un equipo Airmetrics con filtros en la medición del material particulado. Posteriormente se aplicaron técnicas de espectroscopía óptica (plasmas generados por pulsos láser) para el análisis de los filtros encontrándose metales pesados y otros compuestos característicos de la zona estudiada. Los valores de concentración de aerosoles obtenidos en dicha región fueron comparados con los tomados en otras zonas y con datos satelitales. Se realizó la correlación con los parámetros meteorológicos de la zona estudiada.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La lluvia ácida, el efecto invernadero y la modificación e la capa de ozono son ejemplos de los cambios a los que se ha visto sometido la atmósfera de nuestro planeta en las últimas décadas. Estos cambios, debidos fundamentalmente a la actividad humana afectaron los

niveles de concentración de diversos agentes contaminantes. Resulta muy difícil entonces adoptar políticas de saneamiento sin un conocimiento sistematizado del problema, siendo necesario contar con datos precisos basados en mediciones de los contaminantes más representativos.

Estudios sobre contaminación atmosférica se vienen realizando desde hace varios años en la UTN-FRLP, así como en los demás organismos que participan en el presente trabajo, los que brindan apoyo en los aspectos básicos asociados al uso de las distintas técnicas utilizadas, así como en el aporte de tecnología instrumental [1- 4].

El objetivo de este trabajo es estudiar y evaluar, mediante técnicas físicas y químicas, la concentración de SO<sub>2</sub>, aerosoles y PM10 presentes en la atmósfera en la región de La Plata.

## 2. INSTRUMENTAL UTILIZADO

Parte del equipamiento para monitorear SO<sub>2</sub> en aire ambiente, consiste en un analizador continuo marca Lear Siegler modelo ML 9850, el que detecta concentraciones de dióxido de azufre de hasta 0.001 ppm mediante fluorescencia en la región del UV [5]. Con este instrumento se comenzó a trabajar en la medición de este gas en la zona de influencia del Polo petroquímico de La Plata, contándose con un archivo de datos desde el año 1995.

Se realizaron asimismo comparaciones de SO<sub>2</sub> con las obtenidas mediante el método Colorimétrico de West y Gaeke – Pararosanilina ASTM 2914 [6], aplicable para la medición de SO<sub>2</sub> en un rango aproximado de entre 0,01 ppm y 0,40 ppm, y que en un muestreo de una hora permite determinar concentraciones menores de hasta 0,003 ppm.

Los valores obtenidos de SO<sub>2</sub> fueron correlacionados con los parámetros meteorológicos de la zona, provistos inicialmente por el Observatorio Astronómico de La Plata, y a partir del año 1998, mediante una estación meteorológica Davis modelo Weather Monitor II Euro Version, instalada en la UTN. Esto permitió la concreción de varios trabajos [7-9].

Las investigaciones realizadas en el Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP) estuvieron centradas en estudios básicos y aplicados sobre la medición de concentraciones de contaminantes gaseosos, utilizando técnicas de espectroscopia óptica [2].

En la medición de aerosoles se utilizó un radiómetro MICROTOPS II (Fig.1), que es un instrumento portátil de varias bandas capaz de medir y almacenar la columna total de ozono, la columna de vapor de agua, y el espesor óptico de aerosoles (AOT), por sus siglas en inglés Aerosol Optical Thickness, con una precisión del 2% [10].

El instrumento está equipado con cinco colimadores ópticos alineados, con un campo de visión completa de 2,5°. Cada canal está equipado con un filtro de interferencia de banda estrecha y un fotodiodo adecuado para el rango de longitud de onda particular. Cada dato se registra con la fecha, hora, coordenadas del lugar, ángulo solar, altitud, presión y temperatura. En el caso de los AOT se utiliza el filtro de 1020nm.

La radiación capturada por el colimador y los filtros se dirige hacia los fotodiodos, produciendo una corriente eléctrica que es proporcional a la potencia radiante interceptada por estos. Estas señales son amplificadas primero y luego convertidas en una señal digital por un convertidor A/D de alta resolución.



Fig.1. Fotómetro solar portátil MICROTOPS II

El MiniVol Portable Air Sampler, Airmetrics, utilizado en la medición de PM<sub>10</sub> es un muestreador portátil de aire ambiente para material particulado, que utiliza tecnología de bajo flujo desarrollada conjuntamente por la EPA (Environmental Protection Agency) y la LRAPA (Lane Regional Air Protection Agency) [11].

En el muestreo de material particulado utilizando este instrumento (que dispone de un temporizador programable, un sistema de control de flujo constante y un medidor de tiempo), el aire es forzado a pasar a través de un separador de tamaños de partículas y luego a través de un medio filtrante. La separación de partículas por tamaño de la corriente de aire se logra por impacto, con un flujo constante de 5 litros por minuto a través del separador a diferentes temperaturas y presiones atmosféricas.

Antes de la inserción del filtro adecuado dentro del equipo muestreador, este debe ser sometido a un proceso de secado durante 24 hs, correctamente pesado en balanza analítica y claramente identificado. Una vez extraído el filtro del equipo, este se traslada al laboratorio, para su posterior nuevo secado y pesaje. Seguidamente, se obtiene la masa de partículas depositadas en el filtro, calculando la diferencia de los pesajes antes y después de realizada la extracción.

Los datos medidos de aerosoles y PM<sub>10</sub> fueron también correlacionados con valores de los parámetros meteorológicos de la zona estudiada.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

En la región del partido de La Plata y de los partidos linderos de Ensenada y Berisso, que constituyen el llamado Gran La Plata, la temperatura media anual ronda los 16,3 °C y precipitaciones medias anuales calculadas en 1023 mm. Por su cercanía al Río de la Plata la humedad tiende a ser abundante, siendo la media anual de 77,6 %. En cuanto al viento, su intensidad media anual llega a 12 km/h. El clima es templado húmedo, con condiciones de microclima que pueden influir en la dispersión atmosférica. Durante otoño e invierno las

nieblas son frecuentes en la zona, con inversiones térmicas que contribuyen a una baja dispersión en la atmósfera. Es decir, se presentan condiciones que, por momentos, favorecen la concentración de contaminantes. Los vientos predominantes en orden de importancia provienen de los sectores NO, S, SE, NE y N.

La población del Gran La Plata está compuesta mayoritariamente por la correspondiente a la parte urbana del partido de La Plata y de los partidos de Ensenada y Berisso. Según el censo del año 2010 la región posee en total una población de 793.365 habitantes [12].

Con respecto al tránsito vehicular, actualmente existen en La Plata y alrededores más de 340.000 vehículos registrados.

### **3.1. Lugares de toma de muestras**

El principal punto de muestreo, donde se midieron aerosoles, PM10 y SO<sub>2</sub>, se encuentra en la UTN-FRLP ubicada al NE de la ciudad, casi en la intersección de los partidos de Ensenada y Berisso con la Ciudad de La Plata. Cercano a este punto, se halla una gran zona industrial con un importante polo petroquímico, que incluye la refinería de petróleo más importante del país y junto a ésta, otras industrias subsidiarias productoras de otros compuestos, coque de petróleo, astilleros, empresas siderúrgicas, entre otras.

En el caso de los aerosoles y a los fines de comparación, se realizaron también mediciones en otros dos puntos ubicados en zonas con diferentes características respecto al principal punto de muestreo. Uno de ellos ubicado en la localidad lindera de Gonnet, en una zona residencial sin actividad industrial o agrícola de envergadura, al noroeste de la ciudad de

La Plata y a unos 7,6 km de la UTN-FRLP. El otro, situado en el partido de Berisso, ubicado al noreste de la ciudad, a unos 6 km aproximadamente del punto de medición principal.

Los dos primeros puntos de medición están cercanos a zonas con alta circulación vehicular, lo que también puede influir en las mediciones de contaminantes presentes en la atmósfera.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Análisis de los filtros mediante LIBS**

Los filtros utilizados en la medición de PM10 fueron analizados mediante una técnica basada en la emisión de plasmas producidos por láser, denominada LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) [13]. Esta técnica consiste esencialmente en analizar espectroscópicamente una chispa generada sobre la superficie de una muestra al enfocar un haz láser pulsado de alta energía. El pulso láser es absorbido por la superficie de la muestra, con lo cual su temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar valores del orden de 1eV ( $\sim 11.000$  °K). A estas temperaturas la materia es vaporizada (reduciéndose a sus componentes atómicos), ionizada y electrónicamente excitada, formándose un microplasma sobre la muestra. La señal luminosa emitida por el plasma, es dispersada en un espectrógrafo de alto poder de resolución y es registrada con un sistema de detección adecuado. Mediante el análisis espectral pueden identificarse los elementos presentes en la muestra.

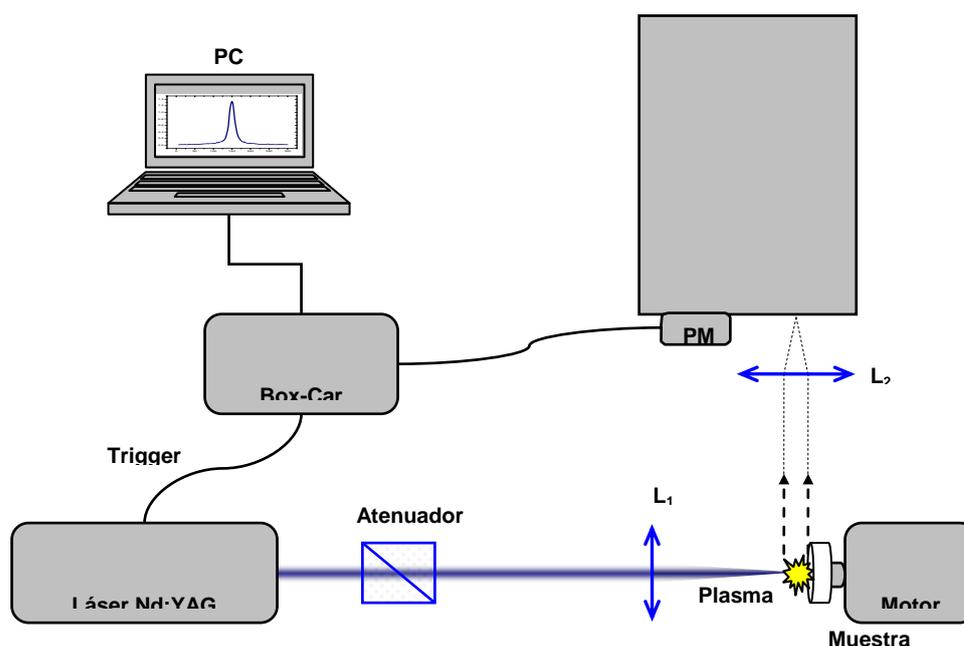


Fig 2. Configuración del sistema experimental utilizado en la técnica LIBS.

Los filtros fueron adosados a un sostén de acrílico y colocados mediante un soporte adecuado a un sistema rotatorio para permitir que el láser incidiera en distintos puntos de la superficie al girar la muestra.

Los plasmas fueron generados a presión atmosférica, mediante el enfoque de un láser de Nd:Yag pulsado (100 mJ/pulso,  $\lambda=1064$  nm) en incidencia normal sobre la muestra, por medio de una lente de cuarzo de  $f=10$ cm.

La luz del plasma se observó perpendicularmente a la dirección del láser, enfocándola con una segunda lente de cuarzo ( $f=20$  cm) en la rendija de entrada de un monocromador con resolución  $\Delta\lambda \approx 0.01$  Å (en 300nm). El detector utilizado fue un fotomultiplicador, cuya señal es promediada y resuelta temporalmente mediante un Box-Car sincronizado con un pulso eléctrico proveniente del láser. Mediante una interfase se conecta a una PC para procesar los datos adquiridos. El diagrama del arreglo experimental se muestra en las Fig. 2.

El sistema dispersor (monocromador) permite registrar transición por transición. En este análisis se buscaron los siguientes elementos: Si, V, Zn, Ni, Cr, Pb, Co, Mo y Cu. Las transiciones usadas se listan en la Tabla 1 y fueron seleccionadas en base a sus parámetros espectroscópicos (intensidad relativa, probabilidad de transición, niveles de energía involucrados en la transición).

Sólo se pudo detectar la presencia de determinadas trazas indicadas más abajo. El análisis realizado es cualitativo, ya que no es posible disponer de curvas de calibración como para cuantificar los elementos. Se detectaron en algunos casos fuertes señales que resultaron interferencias debido a la presencia de Fe. Precisamente debido a las señales de este metal, no se pudo aislar las transiciones propias del Pb. En el caso del Si, apareció en los registros de todas las muestras mas se verificó que una contribución importante es aportada por el mismo material del filtro.

Elemento	$\lambda$
Si I	2881.6 Å
V I	3184.0 Å
Cu I	3274.0 Å
Zn I	3345.0 Å
Co I	3405.1 Å
Ni I	3414.8 Å
Fe I	3745.6 Å
Mo	3864.1 Å
Cr I	4254.4 Å
Ti I	3998.6 Å

Tabla 1: Longitudes de onda usadas

En los filtros analizados se detectaron trazas de V, Zn, Cr, Co, Mo, Cu y Ti.

#### 4.2. Mediciones de aerosoles

En la Fig.3 se muestra el promedio obtenido de AOT para los tres puntos de muestreo. El valor promedio mensual de AOT medidos en la UTN conjuntamente con las frecuencias mensuales de vientos para el sector que involucra las direcciones NE, NNE, N y NNO, es mostrado en la Fig. 4. En este gráfico se incluyen las calmas (en estas consideramos vientos con velocidades muy pequeñas o nulas).

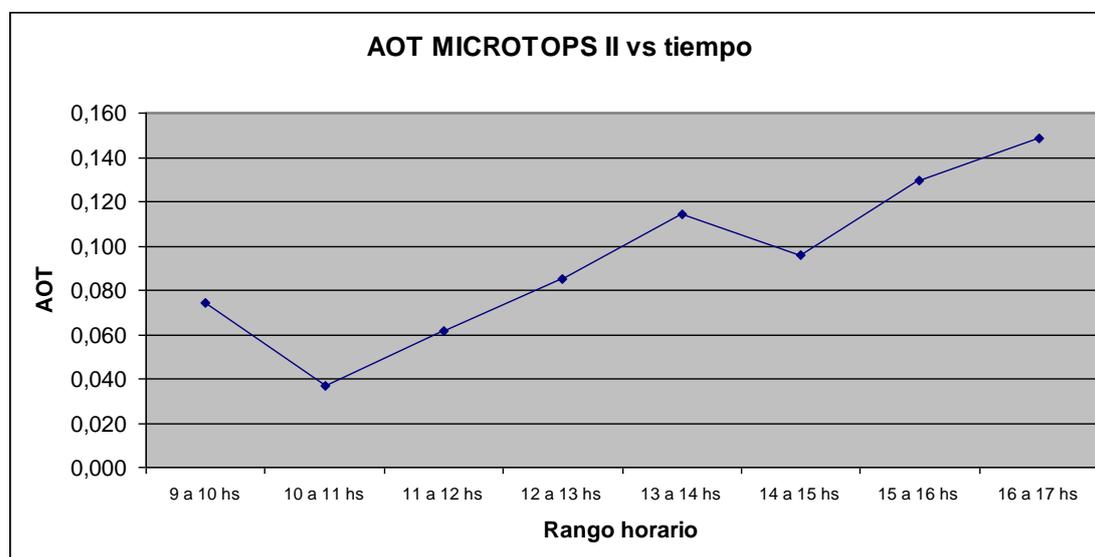


Fig.3. Promedio obtenido de AOT para los tres puntos de muestreo

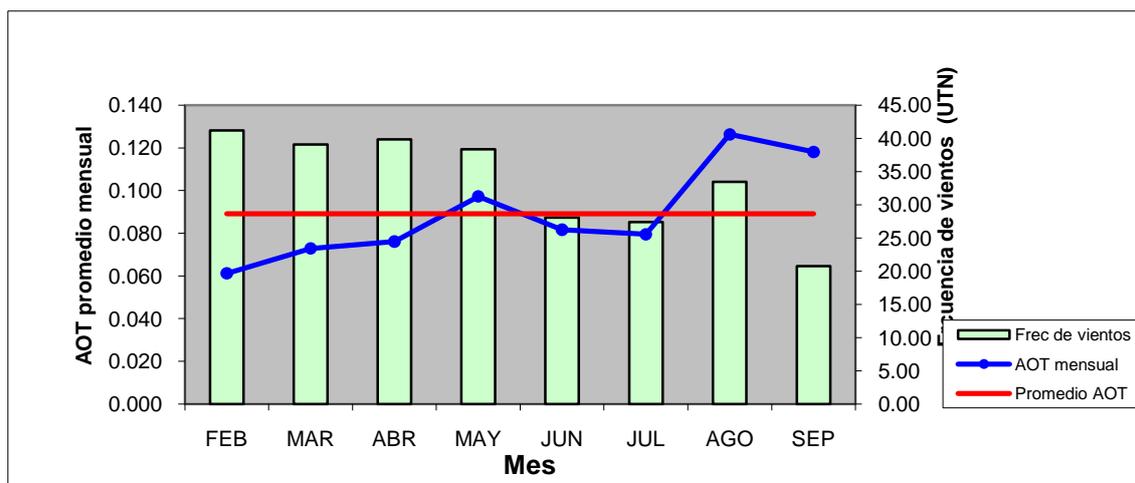


Fig.4. AOT promedio mensual vs. Frecuencia de vientos del NE, NNE, N y NNO (UTN) (C/calmas)

### 4.3. Mediciones satelitales de aerosoles

Las mediciones obtenidas mediante satélites nos brindan información a gran escala de las propiedades de la atmósfera (aerosoles, nubes, ozono, etc.), Uno de los instrumentos utilizados para este fin es el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Está compuesto por sensores que adquieren datos en 36 bandas espectrales, en un rango que va de  $0.4 \mu\text{m}$  a  $14.4 \mu\text{m}$ , ). Las mediciones multiespectrales obtenidas permiten diversos estudios (aerosoles, propiedades de nubes, vapor de agua, ozono, entre otros).

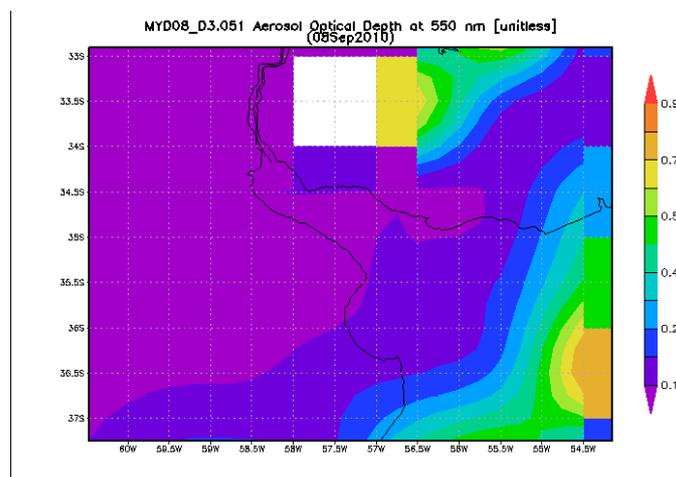


Fig.5. Imagen que muestra valores de AOT del MODIS en 550 nm en la zona de La Plata y alrededores correspondiente al día 8 de septiembre del 2010.

Las realizadas mediante instrumentos instalados en tierra (radiómetros, fotómetros solares, etc.) nos permiten obtener datos de una zona puntual. A fines de comparación con los obtenidos mediante satélites, en el presente trabajo se utilizaron valores del espesor óptico de aerosoles (AOT) promediados en el día en la banda de 550nm (y luego convertidos a 1020nm mediante la ley de Ångström), correspondientes a la sección de datos diarios del MODIS

(*MODIS-Daily*) [14], disponibles con una moderada resolución, según se muestra como ejemplo en la Fig.5, pero valiosos a los fines comparativos con la atmósfera circundante a la zona de estudio.

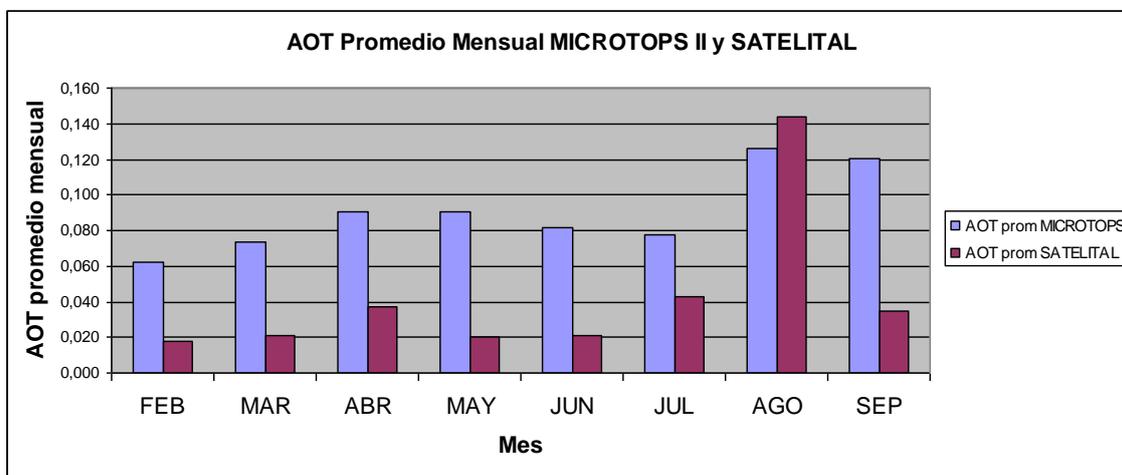


Fig.6. AOT promedio mensual MICROTOPS II y satelital

En la Fig.6. se muestran los valores de AOT promedio mensual del satélite y los obtenidos mediante el MICROTOPS II. Un gráfico en una roseta de vientos de la concentración de AOT medidos en el CIOP mediante el radiómetro portátil, es mostrado en la Fig.7. Es importante considerar que estas medidas se realizaron entre los meses de septiembre de 2010 y febrero de 2011. Una figura similar fue obtenida en una roseta de vientos para la concentración de  $\text{SO}_2$ , en una campaña de medición realizada en el CIOP en primavera [9].

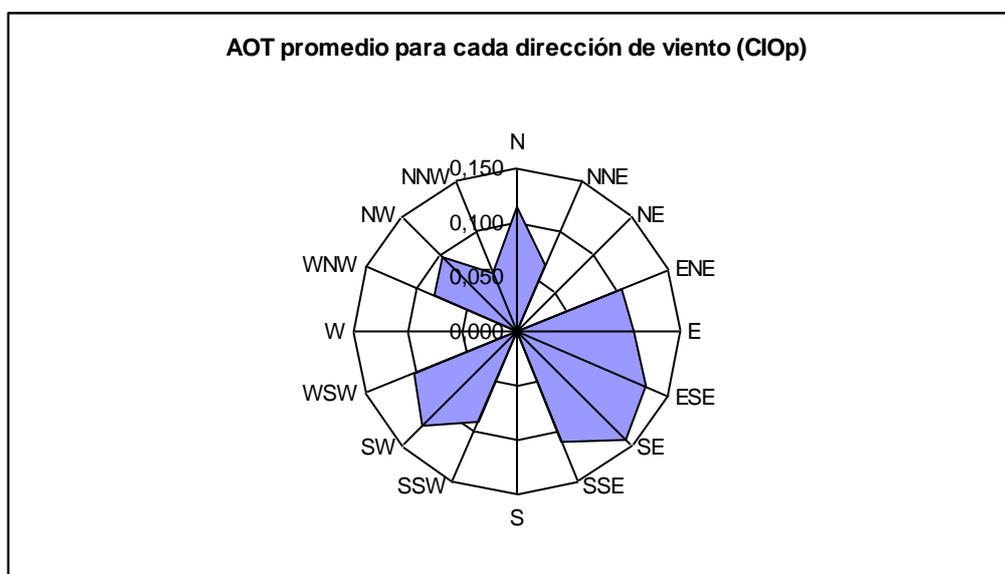


Fig.7. AOT promedio para cada dirección de viento (CIOP)

#### 4.4. Mediciones de SO<sub>2</sub>

Los valores registrados sobre concentraciones de dióxido de azufre mostraron resultados similares (14 ppbv en promedio) a los reportados en [2], en donde se utilizó para su medición, además de técnicas de espectroscopia óptica de absorción, el mismo instrumento que mide por fluorescencia en UV, así como el método químico descrito en el presente trabajo.

#### 5. CONCLUSIONES

Fue estudiada la concentración de diversos contaminantes atmosféricos en la región del Gran La Plata, mediante métodos físicos y químicos. El estudio de PM<sub>10</sub> usando técnicas láser resultó adecuado para la identificación de los elementos presentes en los filtros utilizados. Los datos sobre la concentración de aerosoles obtenidos en tres puntos diferentes con el radiómetro portátil fueron comparados con los satelitales, mostrando resultados concordantes. Las concentraciones medidas de SO<sub>2</sub> mediante métodos químicos y de fluorescencia en UV, estuvieron de acuerdo con las esperadas en la región estudiada y con aquellas provenientes de los estudios previos realizados. Los valores de concentraciones medidas de todos los contaminantes estudiados fueron correlacionados con los parámetros meteorológicos de la región.

#### 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. J. Tocho del CIOp y al Dr. D. Gómez de la CNEA, por el préstamo de parte del equipamiento utilizado para la realización de este trabajo.

#### 7. REFERENCIAS

- [1] M.E. Rosato, J. Reyna Almandos, G. Ratto, A. Flores, V. Sacchetto, V. G. Rosato, J. Ripoli, J.C. Alberino, J.C. Ragaini, "Mesure de SO<sub>2</sub> à La Plata, Argentine". *Pollution Atmosphérique*, 169, 85-98, (2001).
- [2] J. Reyna Almandos, F. Videla, D. Schinca, G. Ratto, J.C. Ragaini, V. Sacchetto, M. Rosato, M. Arrieta, J. Bazán, "Contaminación Atmosférica en Argentina". *Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA*. Copyright UTN, ISBN 978-950-42- 0119-9, (2009).
- [3] D.M. Díaz Pace, "Caracterización de plasmas producidos por láser mediante espectroscopia de emisión atómica." *Tesis de Doctorado*, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, (2010).
- [4] F. Fujiwara, M. Dos Santos, J. Marrero, G. Polla, D. Gómez, L. Dawidowski, P. Smichowski, "Fractionation of eleven elements by chemical bonding from airborne particulate matter collected in an industrial city in Argentina", *J. Environ. Monit.*, 8, 913-922, (2006).
- [5] Manual de instalación y uso del Equipo ML 9800, Lear Siegler, Measurement Controls Corporation, (1992).
- [6] US EPAa, "Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the atmosphere (Pararosaniline Method)", 40 CFR 50, Appendix A pp. 9, (2001)
- [7] J. Marañón Di Leo, S. Delnero, J.C. Ragaini, V. Sacchetto, C. Colosqui, J. Colman Lerner,

- U. Boldes, A. Scarabino, M. Rosato, J. Reyna Almandos, “Air concentrations of SO<sub>2</sub> and wind turbulence near La Plata petrochemical pole (Argentina)”, *Latin American Applied Research*, 34, 55 – 58, (2004).
- [8] G. Ratto, F. Videla, J. Reyna Almandos, R. Maronna, D. Schinca, “Study of meteorological aspects and urban concentration of SO<sub>2</sub> in atmospheric environment of La Plata, Argentina”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 121, 327-342, (2006).
- [9] G. Ratto, F. Videla, R. Maronna, “Analyzing SO<sub>2</sub> concentrations and wind directions during a short monitoring campaign at a site far from the industrial pole of La Plata, Argentina”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 229-240, (2009).
- [10] MICROTOPS II User’s Guide, Version 1.40, Solar Light Company., Inc. (1996).
- [11] <http://www.airmetrics.com/products/minivol/index.html>
- [12] INDEC, Argentina. <http://www.indec.mecon.ar>. Censo 2010.
- [13] D.A. Cremers, L. J. Radziemski, Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, John Wiley & Sons, Ltd, (2006).
- [14] <http://daac.gsfc.nasa.gov/giovanni/MODIS-Daily>

## INVENTARIO DE EMISIONES POR QUEMA DE BIOMASA Y ESTIMACIÓN DE SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE AIRE EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

Cremades<sup>1\*</sup>, Pablo; Allende<sup>1</sup>, David y Puliafito<sup>1</sup>, Salvador E.

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273 (5500) Mendoza, Argentina  
e-mail: pablocremades@gmail.com  
david.allende@frm.utn.edu.ar, epuliafito@frm.utn.edu.ar;  
web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

**Resumen** *El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el impacto sobre la calidad de aire de las emisiones por quema de biomasa pre y post cosecha de caña de azúcar en las áreas urbanas aledañas a las zonas cultivadas en la Provincia de Tucumán. Los datos sobre áreas cultivadas, fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La información de ubicación de los focos de incendios se obtuvo del instrumento Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), abordo de las plataformas Terra y Aqua, con una disponibilidad temporal de hasta 4 imágenes por día. La evaluación del transporte e impacto de las emisiones resultantes, se hizo utilizando el modelo de calidad de aire CALPUF, al cual se le incorporaron pronósticos meteorológicos obtenidos con el modelo regional Weather Research and Forecasting (WRF) y datos de superficie del Servicio Meteorológico Nacional. Para el estudio se consideró la primera quincena de agosto de 2009, en la cual se observó una gran cantidad de focos de incendio. Finalmente, se compararon los resultados obtenidos con valores reportados en la literatura para evaluar la significancia de la contribución de la quema de caña en la calidad de aire local.*

**Palabras clave:** Quema de Biomasa, Caña de Azúcar, CALPUFF, calidad de aire, MODIS.

### 1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*, L.) es un cultivo de gran importancia en la Provincia de Tucumán, particularmente en los departamentos de Cruz Alta, Leales, Graneros y Simoca. En el año 2007, la producción de caña en la toda la provincia alcanzó un total de 1.279.133 toneladas, con una superficie implantada de 217.000 hectáreas.

Una práctica agrícola generalizada es la quema de lotes en pie, de caña preparada para cosecha (ya sea manual o semi mecanizada) con el objeto de eliminar residuos vegetales, malezas y alimañas que interfieren en la cosecha de tallos, aumentando la eficiencia de la labor de recolección al suprimir el deshoje manual. Asimismo, esta práctica disminuye el costo de la mano de obra porque se logra una mejor visibilidad en la operación de corte, se evita la exposición a animales venenosos y, además, aumenta el contenido de azúcar en la

caña, por la evaporación del agua. También se detectan importantes cantidades de focos ígneos por la quema de rastrojos o residuos luego de la cosecha, con el propósito de limpieza y preparación de campos para el próximo cultivo.

Sin embargo, más allá de los beneficios económicos y prácticos de la quema de biomasa, ésta puede resultar en una contribución importante de partículas y gases que afectan tanto a la calidad de aire como a la salud pública [1], [2]. Entre las principales preocupaciones se encuentra el material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) y compuestos gaseosos como óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO) y una serie de compuestos volátiles y semivolátiles conocidos por sus efectos adversos sobre la salud. Varios estudios han encontrado claras correlaciones entre emisiones de material particulado fino y efectos en la salud, incluyendo adultos y niños sufriendo de síntomas y episodios asmáticos más frecuentes y severos durante eventos de quema de residuos agrícolas [3], [4]. Además, existen recientes estudios que vinculan al material particulado fino con efectos en el ciclo hidrológico y climático [5], [6].

En el año 2005 el gobierno de la Provincia de Tucumán promulgó la Ley 7459 que prohíbe la práctica de quema de caña de azúcar, aunque se autoriza todavía como medida transitoria a medianos productores que no están en condiciones de suprimirla, puesto que no cuentan con tecnología apropiada en escala intermedia o familiar para la realización de cosecha en verde.

Este trabajo tiene por objeto evaluar el efecto de la quema de biomasa en la calidad de aire de centros urbanos y localidades cercanas a las zonas de producción de caña. Para ello, se realizó un inventario de emisiones en los departamentos de Cruz Alta y Leales durante el mes de agosto de 2009, en el cual se registró el mayor número de fuegos de ese año. Los focos de incendio se obtuvieron de la información captada por MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). El modelo de dispersión urbana CALPUFF, configurado para incorporar estas fuentes de emisión, fue utilizado para la estimación de la trayectoria y concentración final de los contaminantes emitidos.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Dominio y período de modelado**

La región en estudio está ubicada en el noroeste argentino, en el centro de la Provincia de Tucumán, comprendiendo las zonas implantadas con caña en los departamentos de Cruz Alta, Leales y Burruyacú. El dominio de modelado cubre un área de  $200 \text{ km}^2$  centrado en  $26^\circ 18'S$  y  $68^\circ 51'W$  (Figura 1), con una resolución de grilla de 500 m. En esta región, las elevaciones del terreno oscilan entre 360 y 1870 m s.n.m incrementándose hacia el noroeste. Para el análisis de calidad de aire se eligió la primera quincena de agosto de 2009, donde se registraron gran cantidad de focos de incendio en el área de estudio.

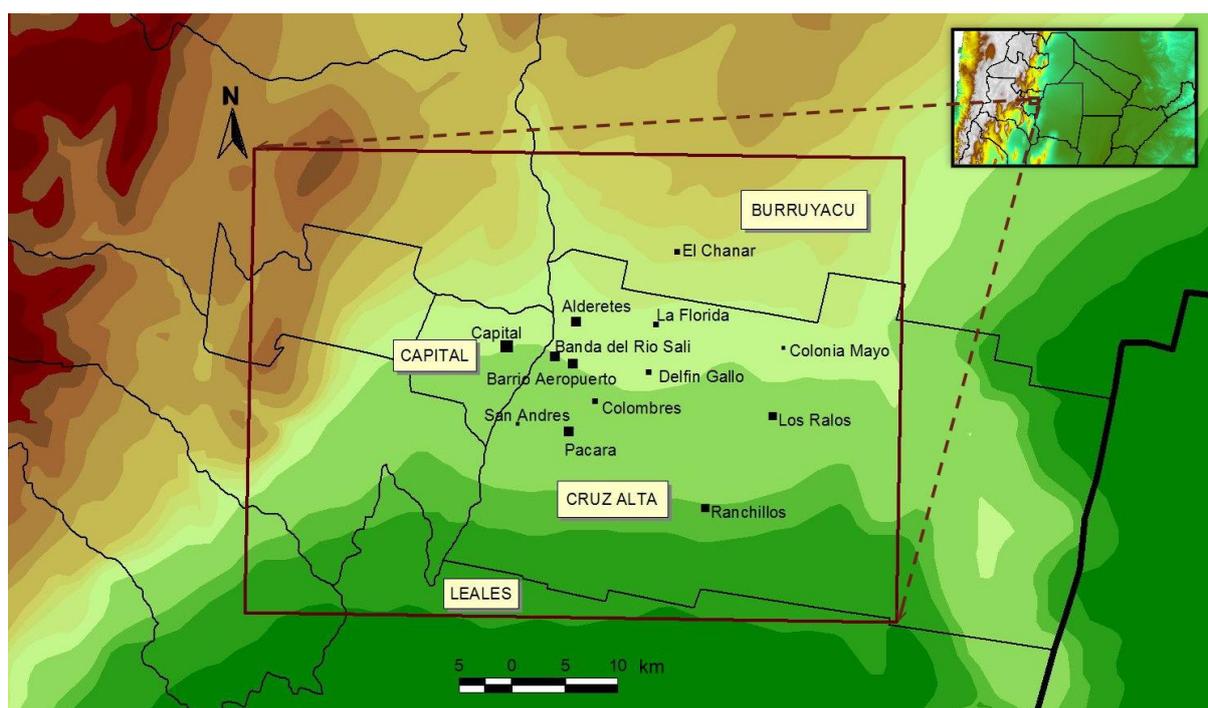


Figura 1. Ubicación del dominio de modelado en el noroeste de la República Argentina. Sobre el mismo, se destacan los principales centros urbanos ubicados en las cercanías de las plantaciones de caña de azúcar, en los departamentos de Leales, Cruz Alta y Burruyacu. .

## 2.2. Meteorología

El clima de la región es subtropical con estación seca en invierno. Durante los meses de octubre y marzo predominan las lluvias que sobrepasan los 1.000 mm anuales. El promedio de temperatura máxima anual es de 25° C con una mínima de 13° C.

En este estudio se utilizó el sistema WRF/CALMET/CALPUFF para el cálculo de dispersión de gases y partículas contaminantes. Éste se corrió en base de tiempo horaria, utilizando en primer lugar, el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) [7] para generar campos de vientos de gran escala como aproximación inicial usados en el modelo CALMET [8], que ajusta dichos campos meteorológicos al terreno y uso/cobertura del suelo incluidos del dominio de modelado, con alta resolución. Los campos meteorológicos de WRF/CALMET se usaron finalmente para conducir las simulaciones con el modelo de dispersión CALPUFF [8].

El modelo WRF fue configurado con dos dominios anidados: un dominio exterior de 70 x 55 celdas con una resolución espacial de 27 km y 27 niveles verticales de presión hasta 50 hPa, y un dominio interior de 91 x 67 celdas con resolución espacial de 9 km centrado en 27,8°S y 64,2° W. WRF se configuró para adaptarse al dominio local introduciendo datos estáticos en una resolución mucho más adecuada que la incluida por defecto en el modelo. En tal sentido, los más recientes datos de uso de suelo en resolución de 250 m provenientes de GLOBCOVER 2009 [9] fueron incluidos para mejorar la caracterización de ambos dominios. El modelo fue corrido con condiciones iniciales y de contorno del modelo de circulación global GFS (Global Forecast System) del National Center for Environmental Prediction (NCEP) con resolución de 1° x 1° en intervalos 6 horas. Para

ambos dominios se utilizó el esquema de microfísica de Lin et al., el esquema de superficie NOAH con 4 capas, el modelo Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) para considerar radiación de onda larga y el esquema de Dudhia para radiación de onda corta. Asimismo, para la consideración de nubes convectivas, se utilizó la parametrización de cúmulos de Kain-Fritsch. Mayores detalles de la parametrizaciones físicas de WRF pueden encontrarse en Michalakes et al., [7].

CALMET fue configurado para el dominio de la Figura 1 con resolución horizontal de 500 m y 10 niveles verticales que corresponden a alturas físicas de 20, 40, 80, 160, 300, 600, 1000, 1500, 2200 y 3000 metros. Los campos meteorológicos generados por WRF fueron interpolados horizontal y verticalmente para CALMET con el procesador offline CALWRF, e introducidos al modelo como campos iniciales. Se introdujeron también mediciones en forma de datos horarios de superficie obtenidos por el Servicio Meteorológico Nacional del Aeropuerto de Tucumán (estación SANT: 26,8°S, 65.1°W, 456 m s.n.m.). El análisis objetivo en CALMET se realizó usando un radio de influencia de 1 km. Finalmente, campos meteorológicos en tres y dos dimensiones fueron generados para todo el período de modelado con resolución horaria.

### 2.3. Detección de focos de incendio

Los regímenes de fuego en el área incluyen quema de residuos de cosecha y quema de caña previa a la cosecha manual o semi mecanizada. El sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), lanzado a bordo de los satélites Terra y Aqua es un instrumento operacional para medir desde el espacio ocurrencias de fuego, a través de una firma espectral específica, localizando geográficamente píxeles con anomalías térmicas [10]. Para este estudio se utilizó el producto MOD14 (MODIS Thermal Anomalies) en nivel 2, que suministra información de ocurrencia fuegos activos y otras anomalías térmicas (durante día y noche), localización del foco, criterios lógicos utilizados para la selección de fuegos y energía liberada para cada foco, en resolución espacial de 1 km [11].

La información fue procesada e integrada en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG), sumadas a las coberturas de suelo ya existentes sobre mapas temáticos de cultivos, generados a través de imágenes satelitales Landsat 5 TM y el producto EVI (Índices Verdes Realzados) del sensor MODIS provistos por el Laboratorio de Sistema de Información Territorial del INTA Famaillá<sup>i</sup>. Esto permitió clasificar los focos de calor de acuerdo a la cobertura sobre la cual se ubicaron (Figura 2).

---

<sup>i</sup> [http://www.inta.gov.ar/famailla/actividad/sig\\_gps.htm](http://www.inta.gov.ar/famailla/actividad/sig_gps.htm)



Figura 2. Localización de focos de fuego (en rojo) para el período de modelado sobre el mapa de cobertura de suelos. En verde se representan las áreas implantadas con caña de azúcar, destacándose las parcelas en las que se produjo la quema.

La localización de las áreas quemadas de mayor tamaño se verificó posteriormente a través del producto MCD45A1 [12] de MODIS que contiene una descripción mensual de zonas quemadas en una resolución de 500 m.

#### 2.4. Inventario de emisiones

La estimación de las emisiones está dada por la Ecuación (1), en la cual, para un dado pixel donde MODIS detecta fuego, se cruza la localización geográfica con datos de densidad de biomasa y las características fisiológicas de la vegetación, en este caso, datos particulares para caña de azúcar:

(1)

donde  $ET_i$  representa la emisión total en gramos para el compuesto  $i$ ,  $\alpha_{veg}$ , es la cantidad de biomasa sobre el suelo, en  $kg$  de  $C/m^2$ ,  $\beta_{veg}$  es un factor de combustión que caracteriza la eficiencia de la misma,  $EF_{i,veg}$  es el factor de emisión correspondiente para cada compuesto en  $g/kg$  y  $A_{fuego}$  es el área quemada en  $m^2$ . Para este caso en estudio se utilizó una cantidad de biomasa sobre el suelo de  $9,44$   $kg$  de  $C/m^2$  y una eficiencia de combustión

de 0,9 para todas las parcelas quemadas, de acuerdo con estimaciones del INTA Famaillá. Estos valores se encuentran dentro de los rangos mencionados en la literatura [13-16]. Los factores de emisión utilizados fueron tomados de Andreae y Merlet, [17]. El perfil temporal de las emisiones fue tomado de Giglio [18]. Las emisiones computadas para el período considerado fueron 3694 toneladas de CO, 100 toneladas de NO<sub>x</sub>, 231 toneladas de PM<sub>10</sub>, 156 toneladas de PM<sub>2.5</sub> y 16 toneladas de SO<sub>2</sub>. La distribución por día puede verse en la Figura 3.

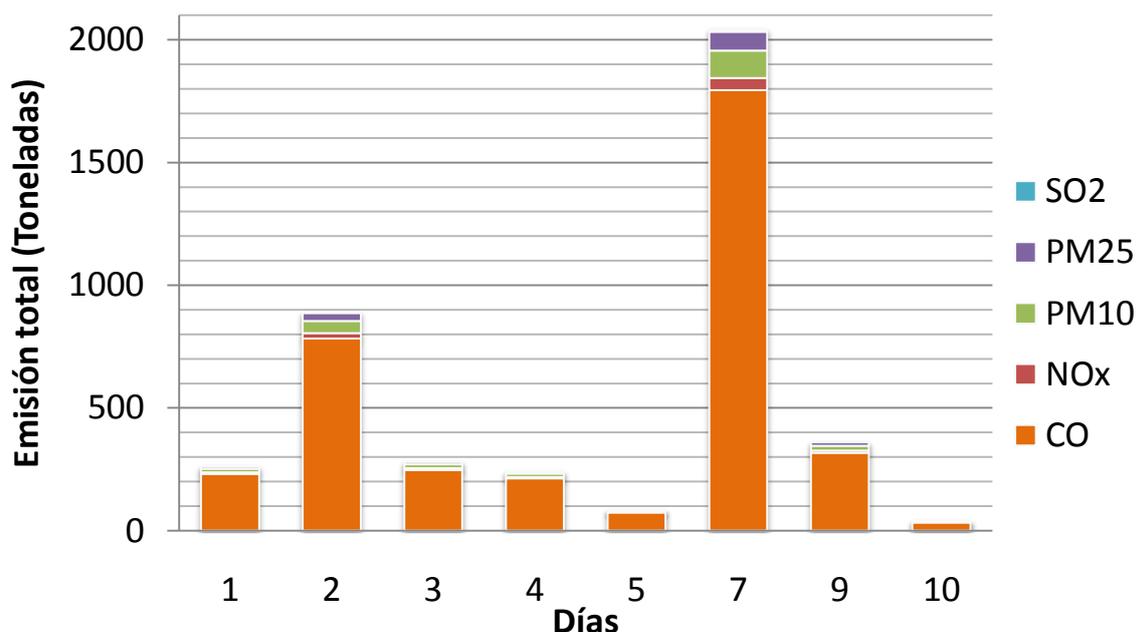


Figura 3. Distribución del total de emisiones para cada día de modelado en que existen focos de incendio.

## 2.5. Modelado de dispersión atmosférica

CALPUFF [8] es un avanzado modelo de dispersión por soplos de estado no estacionario adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) como modelo preferido para evaluar el transporte, dispersión, transformación y deposición de contaminantes gaseosos y partículas en escalas urbanas. Se modelaron 5 especies: CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Las fuentes de emisión se consideraron como áreas y los parámetros de emisión, tales como altura efectiva de emisión y velocidad de elevación de la pluma se tomaron de Cetegen et al. [19] y Sandberg y Peterson [20].

Los archivos de concentración se obtuvieron finalmente con el procesador CALPOST, generando promedios temporales para cada especie modelada.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Concentraciones a nivel del suelo

Los promedios horarios de concentración de CO desde el 1 al 11 de agosto de 2009 se muestran en la Figura 4 a modo de ejemplo. Los valores de concentración máximos diarios

obtenidos con el modelo para todo el período de modelado se muestran en la Tabla 1, donde se destacan además las concentraciones promedio obtenidas por episodios de quema de 24 horas. Para receptores discretos ubicados en las localidades de interés (Figura 1), se encontró que la concentración horaria de todos los contaminantes es mayor luego de las 18:00 y durante las primeras horas de la noche, de acuerdo con el perfil temporal de emisión adoptado. Bajos valores de concentración para todos los compuestos existen en zonas alejadas a los puntos de quema, y los más altos se dan típicamente para áreas ubicadas a una distancia menor a 1 km del foco de fuego.

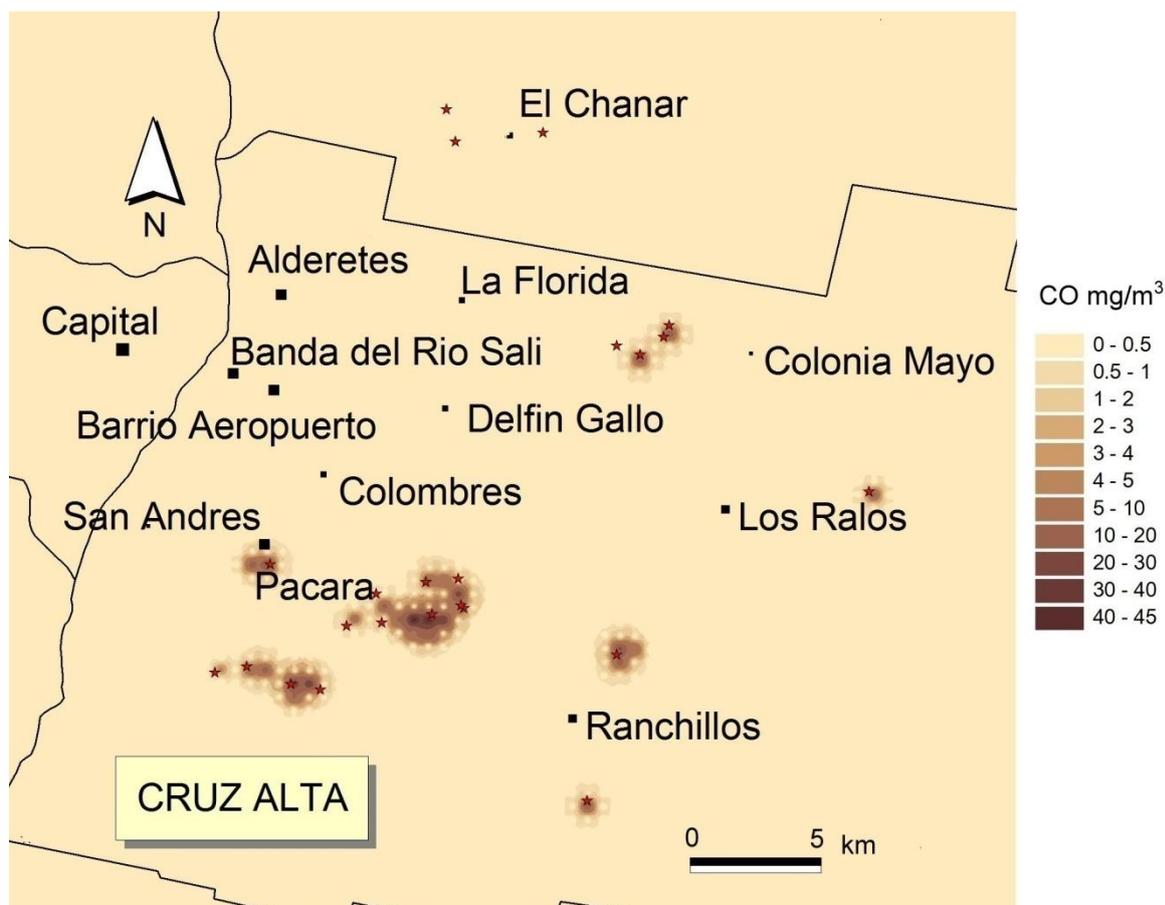


Figura 4. Promedios horarios de CO en mg/m<sup>3</sup> obtenidos con el modelo de dispersión para todo el período de modelado. Se incluyen además los focos de quema detectados.

Contaminante	Concentración máxima ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentración promedio por episodio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valor de referencia OMS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
CO	5.820	49	50
NO <sub>x</sub>	159	13	-
PM <sub>10</sub>	365	30	50
PM <sub>2.5</sub>	247	21	-
SO <sub>2</sub>	26	2	12

Tabla 1. Concentraciones máximas diarias para todo el período de modelado y promedio diarias para episodios diarios de quema de caña. Adicionalmente, algunos valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud.

### 3.2. Concentraciones observadas en episodios similares

Existen pocos reportes en la literatura de mediciones de concentración de contaminantes debido a quema de residuos agrícolas (ver Tabla 2).

Referencia	CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Yang y otros [21]	-	266	-	51
Deng y otros [22]	1.979	92	121	-
Ryu y otros [23]	5.610	57		29
Wu y otros [24]	-	-	19	-

Tabla 2. Concentraciones debido a quema de residuos agrícolas, verificados en otros estudios. Promedios de 24 horas.

Las simulaciones con CALPUFF muestran variaciones en la distribución superficial de todos los contaminantes acordes con valores medidos en otros sitios. Si bien no existen estudios específicos para quema de caña de azúcar, los valores se consideran representativos del fenómeno en estudio.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se han integrado los modelos WRF/CALMET/CALPUFF con un modelo de detección de fuegos y el uso de un Sistema de Información Geográfica con varias capas de información para la determinación de la contribución de quema de caña de azúcar en la concentración de gases y partículas contaminantes en los departamentos productores de la provincia de Tucumán. Con esta configuración se ha podido determinar el impacto en poblaciones cercanas a los lugares de quema, con concentraciones diarias promedio de hasta 5.820  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de CO, 159  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de NO<sub>x</sub>, 365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>10</sub>, 247  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub> y 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de SO<sub>2</sub> sobre las concentraciones de fondo.

Debido a las complejidades inherentes a la formulación de políticas y toma de decisiones necesarias para lograr prácticas agrícolas sustentables, es necesario contar con guías generadas por el uso de modelos interdisciplinarios que permitan evaluar las distintas alternativas de manejo de cultivos. Se han presentado en este trabajo los resultados de un primer avance en la simulación que incorpora meteorología, física y ecología de fuego, física y química atmosférica para la predicción de patrones espaciales y temporales de contaminación por quema de biomasa. Los resultados obtenidos para el período seleccionado son de gran interés y, a la vez, señalan posibles deficiencias que sugieren la

necesidad de mejorar el sistema integrado de modelos. Se espera en futuras simulaciones mejorar el conocimiento del proceso de quema relacionado con actividades agrícolas y la aplicación de datos de mejor calidad asociadas a cada proceso incluido en el modelo. De esta manera, se espera incrementar la robustez del sistema para mejorar su capacidad predictiva más allá de los límites presentados en este trabajo y optimizar su capacidad de analizar posibles escenarios alternativos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ing. Alejandro Valeiro de la Estación Experimental Agropecuaria Famaillá del INTA por su constante colaboración en la suministración de información detallada para la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] A. Dennis, M. Fraser, S. Anderson, and D. Allen, "Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas," *Atmospheric Environment*, vol. 36, pp. 3779-3792, (2002).
- [2] J. Jimenez, C.-F. Wu, C. Claiborn, T. Gould, C.D. Simpson, T. Larson, and L.-J.S. Liu, "Agricultural burning smoke in eastern Washington--part I: Atmospheric characterization," *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 639-650, (2006).
- [3] K. Torigoe, S. Hasegawa, O. Numata, S. Yazaki, M. Matsunaga, N. Boku, M. Hiura, and H. Ino, "Influence of emission from rice straw burning on bronchial asthma in children," *Pediatrics International*, vol. 42, pp. 143-150, (2000).
- [4] T.F. Mar, T.V. Larson, R.A. Stier, C. Claiborn, and J.Q. Koenig, "An analysis of the association between respiratory symptoms in subjects with asthma and daily air pollution in Spokane, Washington," *Inhalation toxicology*, vol. 16, 2004, pp. 809-815.
- [5] P.J. Crutzen and M.O. Andreae, "Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles," *Science*, vol. 250, pp. 1669-1678, (1990).
- [6] A.P.K. Tai, L.J. Mickley, and D.J. Jacob, "Correlations between fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM<sub>2.5</sub> to climate change," *Atmospheric Environment*, vol. 44, pp. 3976-3984, (2010).
- [7] J. Michalakes, J. Dudhia, D. Gill, T. Henderson, J. Klemp, W. Skamarock, and W. Wang, "The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance," (2004).
- [8] J.S. Scire, D.G. Strimaitis, and R.J. Yamartino, A User ' s Guide for the CALPUFF Dispersion Model, (2000).
- [9] O. Arino, J. Ramos, V. Kalogirou, P. Defoumy, and F. Achard, "GlobCover 2009," *ESA Living Planet Symposium*, Bergen, Norway:, p. 686, (2010).
- [10] Y.J. Kaufman, P.V. Hobbs, V.W.J.H. Kirchoff, P. Artaxo, L.A. Remer, B.N. Holben, M.D. King, D.E. Ward, E.M. Prins, K.M. Longo, L.F. Mattos, C.A. Nobre, J.D. Spinhirne, Q. Ji, A.M. Thompson, J.F. Gleason, S.A. Christopher, and S.C. Tsay, "Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) Experiment," *Journal of Geophysical Research*, vol. 103, pp. 31783-31808, (1998).
- [11] L. Giglio, "MODIS Collection 4 Active Fire Product User's Guide Version 2.3", (2007).
- [12] D. Roy, Y. Jin, P. Lewis, and C. Justice, "Prototyping a global algorithm for systematic

- fire-affected area mapping using MODIS time series data,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 97, pp. 137-162, (2005).
- [13] D.E. Ward, R.A. Susott, J.B. Kauffman, R.E. Babbitt, D.L. Cummings, B. Dias, B.N. Holben, Y.J. Kaufman, R.A. Rasmussen, and A.W. Setzer, “Smoke and Fire Characteristics for Cerrado and Deforestation Burns in Brazil: BASE-B Experiment,” *J. Geophys. Res.*, vol. 97, pp. 14601-14619, (1992).
- [14] H.K. Gibbs, S. Brown, J.O. Niles, and J.A. Foley, “Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 2, (2007).
- [15] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Hayama, Kanagawa JAPAN: (2006).
- [16] EMEP/EEA, EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook — 2009. Technical guidance to prepare national emission inventories, Copenhagen, (2009).
- [17] M.O. Andreae and E. Merlet, “Emission of trace gases and aerosols from biomass burning,” *Global Biogeochem. Cycles*, vol. 15, pp. 955-966, (2001).
- [18] L. Giglio, “Characterization of the tropical diurnal fire cycle using VIRS and MODIS observations,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 108, 2007, pp. 407-421.
- [19] T. Kubota, with Zukoski E.E., Entrainment and flame geometry of fire plumes, Pasadena, California, (1982).
- [20] D.V. Sandberg and J. Peterson, “A source strength model for prescribed fires in coniferous logging slash,” 1984 Annual Meeting, Air Pollution Control Association, Northwest Section, p. 14, (1984).
- [21] S. Yang, H. He, S. Lu, D. Chen, and J. Zhu, “Quantification of crop residue burning in the field and its influence on ambient air quality in Suqian, China,” *Atmospheric Environment*, vol. 42, pp. 1961-1969, (2008).
- [22] X. Deng, X. Tie, X. Zhou, D. Wu, L. Zhong, H. Tan, F. Li, X. Huang, X. Bi, and T. Deng, “Effects of Southeast Asia biomass burning on aerosols and ozone concentrations over the Pearl River Delta (PRD) region,” *Atmospheric Environment*, vol. 42, pp. 8493-8501, (2008).
- [23] S.Y. Ryu, B.G. Kwon, Y.J. Kim, H.H. Kim, and K.J. Chun, “Characteristics of biomass burning aerosol and its impact on regional air quality in the summer of 2003 at Gwangju, Korea,” *Atmospheric Research*, vol. 84, pp. 362-373, (2007).
- [24] C.-F. Wu, J. Jimenez, C. Claiborn, T. Gould, C.D. Simpson, T. Larson, and L.-J.S. Liu, “Agricultural burning smoke in Eastern Washington: Part II. Exposure assessment,” *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 5379-5392, (2006).

## ANÁLISIS DE EMISIONES DURANTE LA PRODUCCIÓN DE CERÁMICOS CON AGREGADOS DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Quaranta, Nancy E.\*; Caligaris, Marta G.; Unsen, Miguel A. y Lalla, Nicolás S.

Grupo de Estudios Ambientales - GEA  
Facultad Regional San Nicolás  
Universidad Tecnológica Nacional  
Colón 332. 2900. San Nicolás. Pcia. Buenos Aires. Argentina  
e-mail: nquaranta@frsn.utn.edu.ar  
\*Investigador CIC

**Palabras clave:** Emisiones, residuos de proceso, cerámicos.

**Resumen.** *En la última década se ha incrementado la preocupación mundial por las grandes cantidades de residuos industriales de proceso (RP) producidos. Esto ha llevado al desarrollo de numerosos métodos de reutilización o reciclado, entre los que se puede mencionar la producción de materiales cerámicos. En este caso, las condiciones de altas temperaturas [900-1300°C] utilizadas para la obtención de productos sinterizados, conducen a la combustión de todos aquellos materiales combustibles presentes en las mezclas, en su mayoría materiales orgánicos o carbonosos. Los casos extremos están dados por los RP denominados “formadores de poros”, que se queman en su totalidad durante los tratamientos térmicos, produciendo materiales con altas porosidades llamados “aliviados”, como por ejemplo aserrines o descartes de poliestireno de industrias de paneles y embalaje.*

*El objetivo de este trabajo es analizar las emisiones producidas durante la cocción de mezclas arcillosas compactas que contienen diversos RP. Se estudian descartes tales como arenas de fundición, poliestireno, aserrines y residuos de construcción y demolición. Se utiliza tecnología de sensores electroquímicos para la detección de los contaminantes CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>. De los resultados obtenidos se concluye que es determinante analizar las aptitudes ambientales de estos procesos antes de ser llevados a escalas industriales.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En la última década se ha incrementado la preocupación mundial por las grandes cantidades de residuos industriales de proceso (RP) producidos, acumulados en los predios de las empresas, o depositados en vertederos o terrenos de disposición final, en la mayoría de los casos sin el control de seguridad necesario. Esto ha llevado al desarrollo de numerosos métodos y tecnologías que permitan su reutilización o reciclado, entre los que se pueden mencionar como los más utilizados: relleno de terrenos bajos, incorporación a matrices cementíceas, adiciones en mezclas asfálticas y agregados en arcillas para la producción de materiales cerámicos. En este último caso, las condiciones de altas temperaturas [900-1300°C] utilizadas para la obtención de productos sinterizados, conducen a la combustión de todos aquellos materiales combustibles presentes en las mezclas, en su mayoría materiales orgánicos o carbonosos. Los casos extremos están

dados por los RP denominados “formadores de poros”, que se queman en su totalidad durante los tratamientos térmicos, produciendo materiales con altas porosidades llamados “alivianados”, como por ejemplo aserrines o tirillas de industrias madereras, descartes de poliestireno de industrias de paneles y embalaje y caucho molido. El objetivo de este trabajo es analizar las emisiones producidas durante la cocción de muestras arcillosas y de diversos RP. Se estudian descartes tales como arenas de fundición, poliestireno, aserrines y residuos de construcción y demolición.

Las arenas de moldeo residuales del proceso de fundición de hierro estudiadas provienen de una industria metalúrgica ubicada en la región sur de la Provincia de Santa Fe.

El poliestireno expandido (EPS), es un derivado del petróleo que habitualmente se utiliza en la fabricación de paneles o embalajes, cuyos descartes pueden aplicarse en la industria de la construcción para realizar hormigones livianos, mejorando sus características en cuanto a aislamiento térmico. Este descarte puede ser dispuesto en rellenos sanitarios sin riesgos de contaminación, pero presenta como principal problema sus volúmenes excesivos.

La producción de materiales cerámicos a partir de arcillas y varios de estos residuos ha sido estudiada en trabajos previos [1–7].

## 2. EXPERIMENTAL

Los procesos de tratamientos térmicos de las muestras fueron caracterizados en relación a la posible emisión de gases y material particulado. Estos ensayos permiten por un lado, diferenciar el origen de la materia orgánica contenida en las muestras ya que las temperaturas de emisión de los contaminantes son diferentes dependiendo del origen de la materia orgánica presente (vegetal o compuestos orgánicos derivados del petróleo, por ejemplo). Por otro lado permiten determinar la posibilidad de reutilizar estos materiales como agregados en la producción de materiales de tipo cerámico. Así se determina el aporte de contaminantes al aire mediante el análisis en el entorno del horno de cocción.

Para esta caracterización se utilizó un equipo analizador de calidad de aire, con tecnología de sensores electroquímicos de gases y tecnología láser para análisis de material particulado atmosférico, marca XILIX, modelo EPA 2001. Este equipo se coloca en una zona superior a la salida de gases del horno, de tal forma que capte la emisión a segundos de ser producida. Los contaminantes que se determinaron son hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y material particulado inferior a 10 micrones ( $\text{PM}_{10}$ ). La Figura 1 muestra el equipo descripto, y la ubicación del mismo respecto a la salida de emisiones del horno utilizado.

Se realizó una experiencia a modo de blanco de referencia con el horno vacío, en el rango de temperatura ambiente-920°C. La Tabla 1 presenta los niveles de partículas y gases determinados en esta experiencia con el horno vacío. Los niveles bajos obtenidos de los contaminantes analizados son coincidentes con niveles de calidad de ambientes limpios como es el ambiente del laboratorio donde se realizaron las experiencias. Los niveles de  $\text{SO}_2$  no se incorporan en la tabla debido a que fueron todos cero. Niveles levemente más altos al principio de la experiencia pueden estar indicando limpieza de sustancias adsorbidas en las paredes del horno.



Figura 1. Análisis de gases y PM10 en salida de horno de calcinación.

Tiempo [min.]	Temperatura [°C]	PM10 [mg/m <sup>3</sup> ]	CO [ppm]	NOx [ppm]	HC [ppm]
0	21	0,043	0,0	0,005	0,1
10	300	0,059	0,1	0,011	0,1
20	450	0,072	0,0	0,019	0,1
30	550	0,052	0,1	0,005	0,1
40	650	0,054	0,0	0,005	0,0
50	730	0,055	0,0	0,005	0,0
60	770	0,053	0,0	0,005	0,0
70	830	0,052	0,0	0,005	0,0
80	855	0,047	0,0	0,005	0,0
90	875	0,045	0,0	0,005	0,0
100	900	0,044	0,0	0,005	0,0

Tabla 1. Niveles de material particulado y gases en la zona de emisión.

Los residuos analizados en este trabajo son arenas de fundición, poliestireno, aserrines y residuos de construcción y demolición. Entre estos últimos se han estudiado descartes de yeso, pared, hormigón y arena. También se han analizado las emisiones de muestras de arcilla comercial, que constituyen los materiales base para la obtención de los ladrillos cerámicos, considerados como los niveles habituales de emisiones de estos procesos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra las emisiones medidas durante la combustión de arcilla comercial, que se utiliza como base en la preparación de los productos cerámicos. Los resultados de este análisis indican que tanto las emisiones de gases de combustión como de material particulado (PM10) son bajas en relación a las normas de calidad de aire vigentes en Argentina [8], cuyos valores umbrales para estos contaminantes son coincidentes con los establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA).

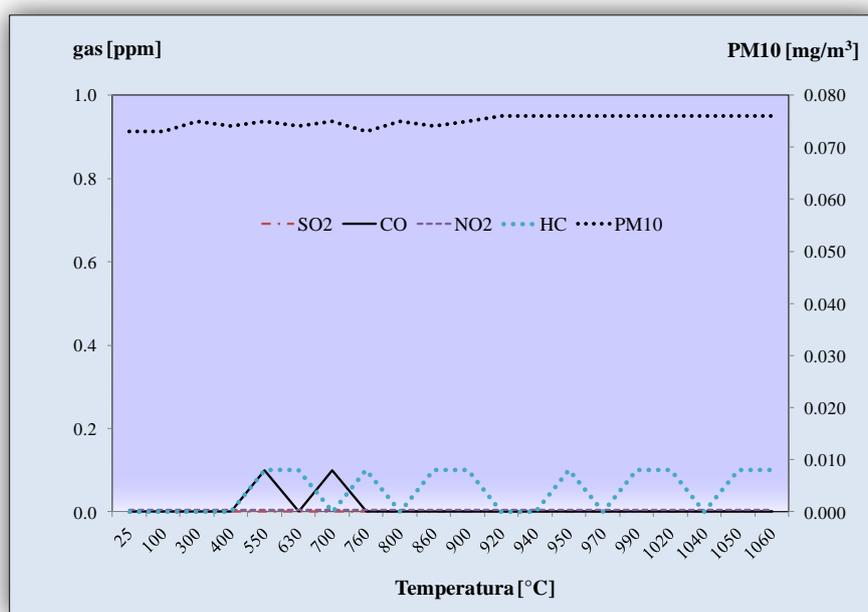


Figura 2. Análisis de gases y PM10 en arcilla comercial.

A continuación se presenta el análisis de las emisiones producidas durante la cocción de residuos de construcción y demolición (RCD) y de diversos residuos de procesos industriales.

### 3.1. Residuos de construcción y demolición

La determinación de las emisiones de gases y partículas durante el proceso de calcinación de estos materiales se realiza, en primer lugar porque el tipo de producto de combustión emitido y el rango de temperatura en el que se emite puede orientar hacia el tipo de material combustible que puede estar contenido en las muestras RCD, y en segundo lugar para determinar el grado de influencia de estas emisiones respecto de la calidad del aire, considerando que estos residuos pueden ser reutilizados, como materia prima para producción de cuerpos compactos cocidos como ladrillos artesanales por ejemplo.

Los residuos estudiados son yeso, hormigón, pared y arena, y los contaminantes que se determinaron en estos residuos son: HC, CO, NO<sub>x</sub> y PM10 [7].

Los resultados de estos análisis para los diversos tipos de RCD, dan comportamientos similares en relación a los niveles de material particulado PM10 y NO<sub>x</sub>. Los valores de PM10 se incrementan a medida que la temperatura se eleva, presentando máximos a temperaturas entre 650°C y 750°C. En el caso de los óxidos de nitrógeno, su presencia se ubica en el rango de temperaturas hasta los 450°C, con máximos a 250°C. La Figura 3 presenta como ejemplo las curvas correspondientes al material arena, que es el que arrojó los valores mayores. El material pared fue el que presentó los menores registros de NO<sub>x</sub> y PM10. En todos los casos, los niveles de concentración de NO<sub>x</sub> y PM10 determinados se encuentran por debajo de los límites establecidos por las normativas de calidad de aire.

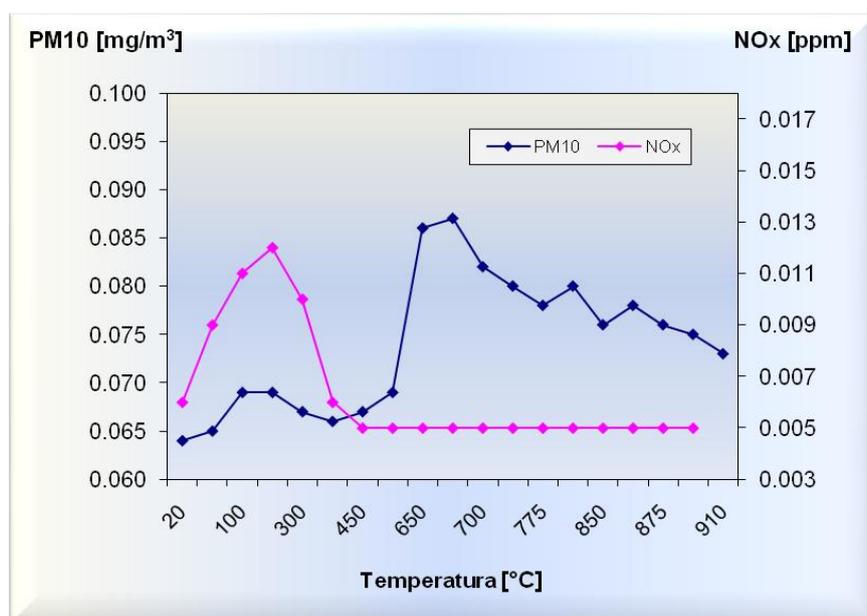


Figura 3. Niveles de NO<sub>x</sub> y PM10 determinados para RCD-arena.

Los análisis de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos (HC), en cambio presentan comportamientos bien diferenciados dependiendo del material residual que se trate. Para las muestras de hormigón y arena se obtienen niveles despreciables de concentración en todo el rango de temperaturas, del orden de los determinados con el horno vacío, 0,1-0,2 ppm. En cambio para las muestras de pared y yeso, se obtienen curvas de concentración de estos gases con niveles considerables, como se muestra en la Figura 4. Se observan máximos en las emisiones de CO en el rango 450°C-500°C, mientras que para HC se presenta un rango de emisión más amplio que abarca desde 350°C en adelante.

Para la interpretación de estos datos se tiene en cuenta que la combustión de materia orgánica biológica del tipo de restos vegetales, bacterias, etc., produce generalmente y en mayor proporción, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), además del material particulado del tipo de cenizas volantes. Estos últimos también pueden producirse durante la combustión o descomposición de minerales inorgánicos como C, carbonatos, etc. En cambio, el material orgánico del tipo pinturas, adhesivos, aceites, etc. en las condiciones del ensayo, emite productos de combustión parcial que resultan hidrocarburos de cadenas más cortas, monóxido de carbono, etc., además de CO<sub>2</sub>, PM10 y H<sub>2</sub>O. Esto es, debido a las características fisicoquímicas de estos materiales, ocurren descomposiciones de los polímeros base, que dan productos que son volátiles y no alcanzan combustión completa dentro del horno, y son emitidos como estos productos de combustión parcial.

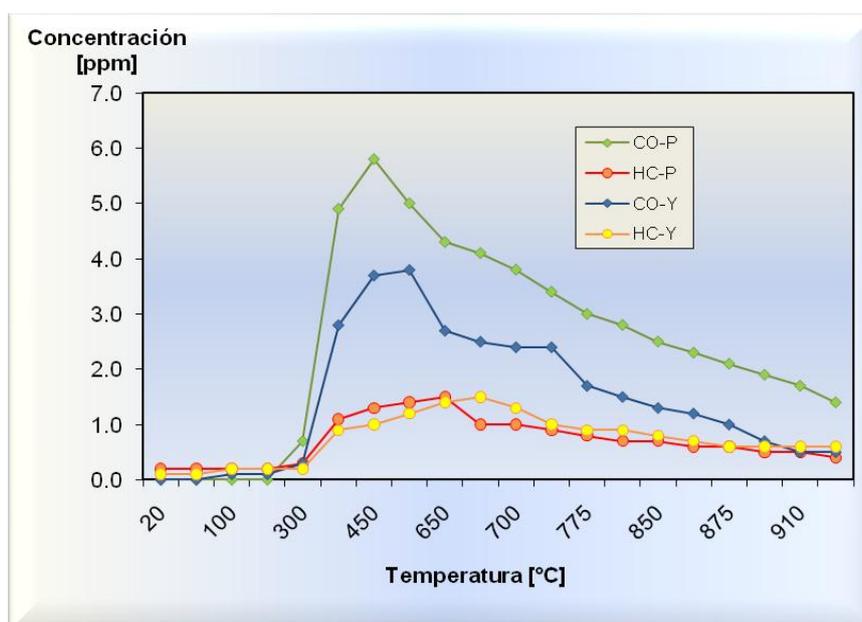


Figura 4. Niveles de CO y HC determinados para pared (P) y yeso (Y).

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas, puede interpretarse que en menor o mayor grado todos los RCD contienen materia orgánica que combustiona o se descompone. La presencia de HC y CO, como productos de combustión parcial, y en concentraciones importantes en los materiales pared y yeso, estaría indicando la presencia en estos residuos de compuestos orgánicos de origen no biológico (pinturas, adhesivos, etc.). No obstante, en todos los casos, los niveles detectados para estos contaminantes se hallan dentro de los rangos umbrales establecidos para calidad de aire.

### 3.2. Arenas de moldeo

Para este residuo que consiste en arenas de moldeo para fundición, se llevó a cabo un proceso de calcinación con el objetivo de determinar las potenciales emisiones de gases y material particulado [6]. En el caso de este descarte industrial pueden encontrarse residuos carbonosos del proceso de fundición, así como material orgánico utilizado como aglomerante durante la fabricación del molde. Los valores de emisión obtenidos pueden observarse en la Figura 5. Los resultados indican que las emisiones de material particulado son similares a las de la arcilla, lo que implica que en relación a este contaminante, este material residual puede utilizarse como agregado de mezclas base arcillosa sin riesgo ambiental. En relación a los gases, se observan emisiones de CO y HC, con valores máximos a 550 °C, que se atribuyen a la combustión de sustancias orgánicas usadas en el proceso de prensado de los moldes. Si bien sus valores están por debajo de los niveles considerados perjudiciales en calidad de aire en las condiciones de este ensayo, los resultados indican la necesidad de análisis en el entorno del predio industrial en caso de su aplicación.

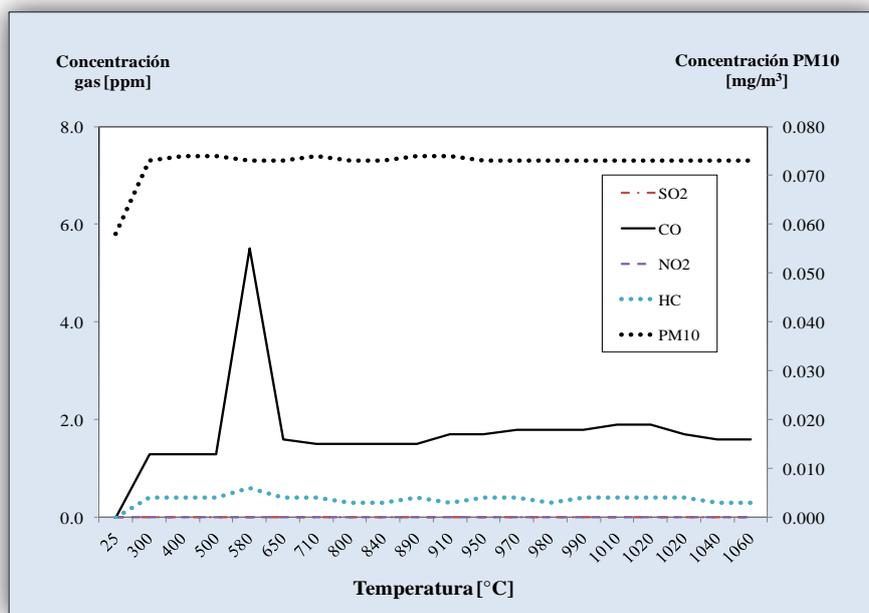


Figura 5. Emisiones de gas y PM10 para las muestras de arena de fundición.

### 3.3. Aserrines

Los descartes de aserrines utilizados en este estudio, provienen de los cortes que se realizan a tableros de fibra de madera de eucalipto. Este residuo, surge luego de un tratamiento térmico de los tableros producidos, que luego se cortan a las medidas de comercialización, generando un descarte en polvo (aserrín) y otro compacto (tirillas) [4]. Este último es llevado también a polvo antes de realizar estos estudios. La Figura 6 presenta las emisiones medidas durante la calcinación de estas muestras de aserrines. Se observa la presencia de concentraciones bajas de NO<sub>x</sub> y PM10. Las concentraciones de CO y HC son relativamente altas en el rango 300°C-700°C correspondiendo a productos de combustión parcial de estos materiales, con máximos a 600°C. Esto puede interpretarse en función de las propias resinas contenidas en el descarte, además de otros compuestos orgánicos como aglomerantes y adhesivos agregados durante el proceso de producción de los tableros. A temperaturas mayores las concentraciones de estos gases disminuyen hasta la completa calcinación de la muestra, luego de la cual se observan pequeñas cantidades de cenizas. A temperaturas mayores a 600°C probablemente se den las condiciones necesarias para que la combustión del material sea completa, con producción directa de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) lo que explicaría que la concentración de los productos parciales vaya disminuyendo.

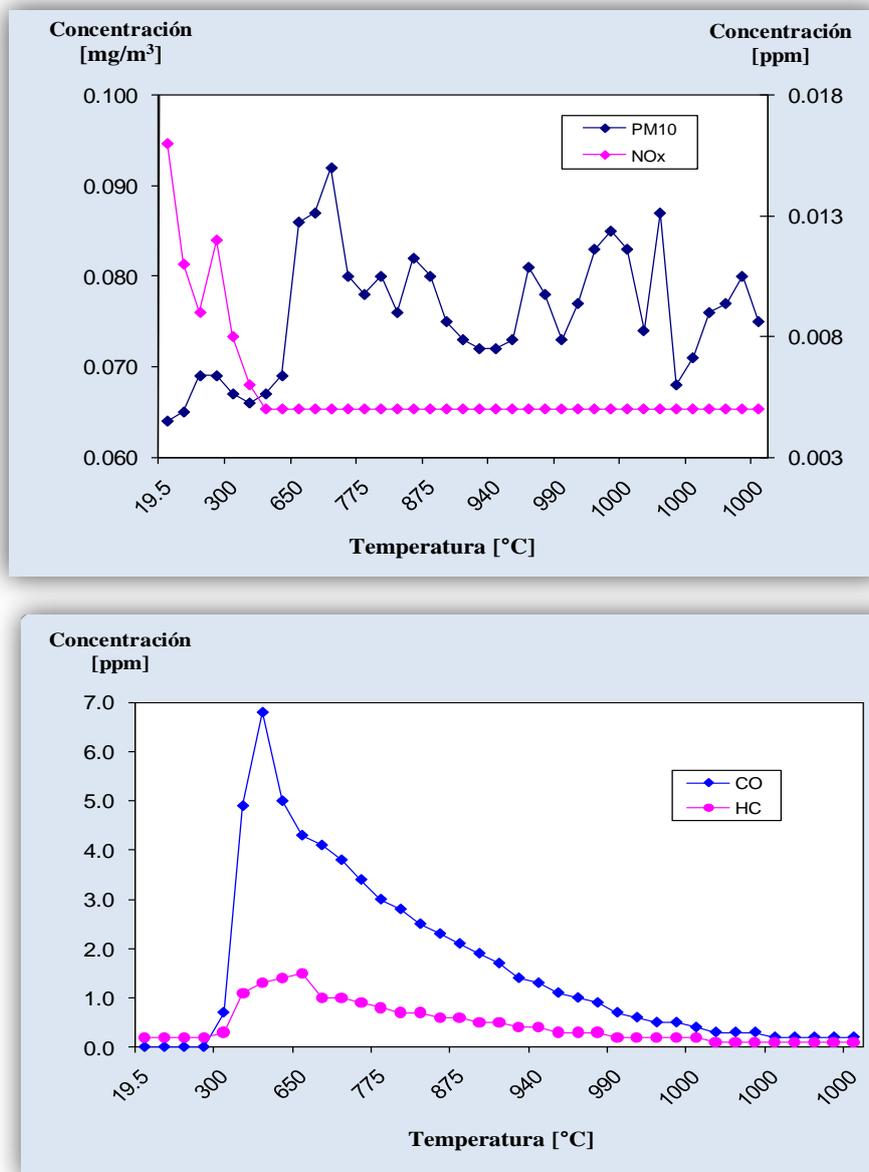


Figura 6. Niveles de PM10, NOx, CO y HC determinados durante el proceso de cocción de aserrines.

### 3.4. Poliestireno

Para este residuo los análisis de calidad de aire fueron llevados a cabo con muestras obtenidas en las mismas condiciones que los cerámicos estudiados, pero en piezas de menor tamaño. La Figura 7 muestra los resultados de los análisis de PM10, CO y HC en dos muestras. La muestra (A) corresponde a la arcilla utilizada, y la muestra (B) corresponde a probetas con adición de poliestireno (tamaño de grano 2,5mm). Los niveles más altos de contaminantes se observan en la muestra que contiene poliestireno, como era de esperarse. En el caso de HC las concentraciones máximas se determinaron en el rango 470°C-680°C.

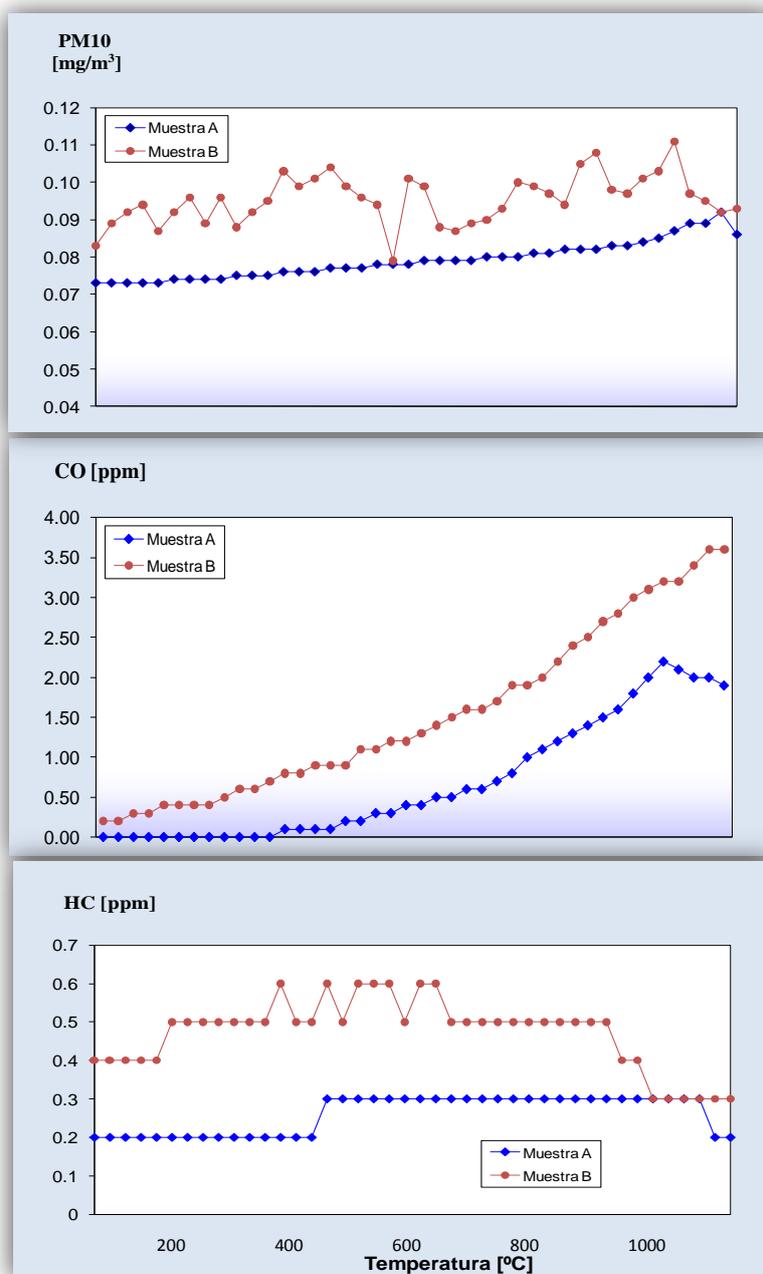


Figura 7: Análisis de calidad de aire durante el tratamiento térmico de las muestras con poliestireno.

Si bien estas concentraciones determinadas no superan los límites para calidad de aire, son relativamente importantes cuando se comparan con los niveles promedio de estos compuestos en el laboratorio, sin tratamientos térmicos en curso que son  $0,05 \text{ mg/m}^3$ ,  $0,02 \text{ ppm}$  y  $0,1 \text{ ppm}$  para PM10, CO y HC respectivamente.

En el caso de este descarte utilizado con frecuencia como formador de poros por los ladrilleros artesanales, resulta fundamental analizar la calidad del aire en las cercanías del predio de producción [5]. Durlak et al [9] han realizado caracterizaciones de las emisiones de este material tratándolo térmicamente en el rango de  $800^\circ\text{C}$  a  $1200^\circ\text{C}$ , y han establecido que se forma un importante número de especies orgánicas volátiles además de los productos de

combustión esperados CO, CO<sub>2</sub> y material particulado, existiendo una disminución en el número y la masa de estas especies orgánicas con el incremento de la temperatura.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han caracterizado diversos residuos de procesos industriales desde el punto de vista de las emisiones producidas durante la cocción de los mismos, con el fin de determinar su aptitud ambiental para ser incorporados como materia prima en la industria cerámica. De los resultados obtenidos se concluye que es de suma importancia un control ambiental de calidad de aire en procesos industriales de este tipo, que incorporan descartes de otros procesos como agregados a los materiales tradicionalmente utilizados.

#### REFERENCIAS

- [1] N. Quaranta, M. Caligaris, H. López, M. Unsen, J. Pasquini, N. Lalla and A. Boccaccini. "Recycling of foundry sand residuals as aggregates in ceramic formulations for construction materials", *Ecosystems and Sustainable Development*, Vol VII, pp. 503-512, (2009).
- [2] N. Quaranta, N. Lalla, M. Caligaris, A. Boccaccini y C. Vieira. "Tejuelas cerámicas a partir de distintas arcillas con agregado de arenas residuales de fundición", *Actas del Noveno Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales*. Actas SAM-CONAMET, (2009).
- [3] N. Quaranta, M. Caligaris, H. López, M. Unsen y H. Di Rienzo, "Adición de aserrines de descarte en la producción de mampuestos cerámicos", *Actas del Octavo Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales*. CONAMET-SAM. Ed. Cient. Tecn. Ltda. Secc. A. pp. 23, (2008).
- [4] N. Quaranta, M. Caligaris, H. López, M. Unsen y H. Di Rienzo, "Adición de aserrines de descarte en la producción de mampuestos cerámicos", *Actas del Octavo Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales*. CONAMET-SAM, (2008).
- [5] N. Quaranta, M. Caligaris, H. López, M. Unsen, N. Lalla, M. Fransoy, M. Carrasco, J. Citroni and M. Avendaño, "Addition of polymeric wastes as pore formers in ceramic lightweight bricks", *Transaction on Ecology and Environment. Harmonisation Between Architecture and Nature*, pp. 447-458, (2010).
- [6] N. Quaranta, N. Lalla, M. Caligaris, A. Boccaccini and C. Vieira. "Ceramic tiles adding waste foundry sand to different clays", *Waste Management and Environment V. Transaction on Ecology and Environment*. Vol. 140, pp. 99-108, (2010).
- [7] G. Machado. "Valoración de riesgos ambientales asociados a depósitos de residuos de construcción y demolición", Tesis Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad Regional La Plata. Universidad Tecnológica Nacional, (2009).
- [8] Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable, Ley 5965, Decreto 3395/96, modificado por Resolución 242/97. Argentina (antes Secretaría de Política Ambiental).
- [9] S. Durlak, P. Biswas, J. Shi and M. Bernhard, Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon particulate and gaseous emissions from polystyrene combustion, *Environmental Science Technology*. Vol 32, pp. 2301-2307, (1998).

## MAPA DE RIESGOS A LA SALUD HUMANA CONSIDERANDO LA DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10: UN CASO DE ESTUDIO

Diez, Sebastián<sup>1,2\*</sup>; Fonseca, José María<sup>1</sup> y Britch, Javier<sup>1</sup>

1: Servicios de Ingeniería Química y Ambiental (SIQA)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional

2: Becario CONICET  
Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba.  
e-mail: [sdiez@quimica.fc.utn.edu.ar](mailto:sdiez@quimica.fc.utn.edu.ar), web: <http://www.siqua.com.ar>  
e-mail: [javierbritch@hotmail.com](mailto:javierbritch@hotmail.com)

**Palabras clave:** PM10, Evaluación de Riesgo Ambiental, ISC-MC, Mapa de Riesgos, Riesgos Agudos, Riesgos Crónicos.

**Resumen.** *El material particulado (PM) es uno de los contaminantes atmosféricos más importantes en términos de sus efectos sobre la salud. Aproximadamente 1400 millones de residentes urbanos se hallan expuestos a niveles de concentración de material particulado superiores a lo aceptable. En este trabajo se ha modelado el riesgo agudo y crónico que representa el material particulado PM10, tomando como caso de estudio una fuente puntual ubicada en las cercanías de la Ciudad de Malagueño (Prov. Córdoba). La valoración del riesgo fue realizada mediante la metodología denominada Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA), con la cual se estiman los impactos a la salud derivados de la exposición a un contaminante ambiental. Con el objetivo de reunir información con distintos niveles de detalle, adquirir nuevas perspectivas y finalmente disminuir la incertidumbre sobre la problemática en cuestión, se ha escalonado el estudio en 3 etapas, complejizando progresivamente las técnicas y modelos utilizados en cada una de ellas. En la primera etapa la concentración de PM10 ha sido estimada mediante un modelo de dispersión de sondeo (Screen3), en la segunda utilizando un modelo refinado (ISC3), y en la tercera desarrollando un modelo para considerar variabilidad de los distintos "inputs" (ISC-MC).*

### 1. INTRODUCCIÓN

Debido a las diversas problemáticas relacionadas a la exposición a contaminantes en los distintos medios (aire, agua, suelo), surge la necesidad de desarrollar herramientas predictivas que utilicen la mejor información científica disponible y a un costo razonable para la toma de decisiones en el marco de la protección de la salud humana. Esta tarea puede valerse de la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA), entendiéndose por Riesgo Ambiental a la probabilidad de que ocurran efectos dañinos sobre la salud humana o sobre el ecosistema, resultante de la exposición a un agente estresor presente en el ambiente [1].

La ERA es un proceso de investigación y búsqueda de información específica, para determinar si un peligro ambiental puede causar daño a los individuos, permitiendo caracterizar la naturaleza y magnitud del riesgo sobre la salud humana [2].

Desde la formalización de la ERA como herramienta para la toma de decisiones, el paradigma dominante en la evaluación del riesgo ambiental ha sido el enfoque determinista, el cual se fundamenta en el tratamiento de la información como una variable puntual. Esto significa que las variables del modelo solo pueden tomar un valor, generalmente el más pesimista o conservador [3]. La principal desventaja de este enfoque es la imposibilidad de establecer en que percentil de la distribución de riesgos se ubican dichas estimaciones. Esto implica desconocer el nivel de protección/desprotección de la población y por lo tanto el nivel de esfuerzo necesario para minimizar los riesgos.

Como respuesta a esta incapacidad, se comenzó a utilizar la Teoría de Probabilidades como marco para la ERA, desarrollando el término “Evaluación Probabilista de Riesgos” (EPR), expresión que se utiliza para denotar evaluaciones de riesgo que hacen uso de distribuciones de probabilidad para representar los diferentes niveles de riesgo [2].

El objetivo de este trabajo es estimar el riesgo agudo y crónico que representa el material particulado PM10 sobre la salud humana, comparando los resultados obtenidos aplicando ambos enfoques (determinista vs probabilista) al caso de una fuente puntual en las cercanías de la Ciudad de Malagueño.

## **2. EFECTOS SOBRE LA SALUD Y CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO**

Aproximadamente 1400 millones de residentes urbanos, principalmente en los países en desarrollo, están expuestos a niveles de concentraciones de PM superiores a los valores aceptables [4, 5].

Las partículas más finas son generalmente las que más contribuyen a estos efectos adversos, debido a su capacidad de ingresar más profundamente en los pulmones, alojándose allí y dañando los tejidos involucrados en el intercambio de gases.

Aunque distintos estudios epidemiológicos realizados en este campo evidencian asociaciones significativas entre el nivel de la concentración de material particulado en el aire y distintos impactos a la salud [6], estos han sido incapaces de identificar una concentración umbral por debajo de la cual el PM10 no tiene efectos sobre la salud [7, 8].

### **2.1. Efectos agudos**

En la última década la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha realizado diversos estudios sobre los efectos a corto plazo, obteniendo resultados que indican que pequeños cambios en los niveles de PM10 dan lugar a efectos agudos significativos sobre la salud [7]. Los efectos relacionados con la exposición a corto plazo incluyen: reacciones inflamatorias en el pulmón, síntomas respiratorios, efectos adversos sobre el sistema cardiovascular y el aumento en la utilización de medicamentos, ingresos hospitalarios y mortalidad.

### **2.2. Efectos crónicos**

Los efectos relacionados con la exposición a largo plazo incluyen: aumento de los síntomas respiratorios y de enfermedades crónicas pulmonares, reducción de la función pulmonar en

niños y adultos, y la reducción de la esperanza de vida, debido principalmente a la mortalidad cardiopulmonar y al cáncer de pulmón. Dado que la exposición a largo plazo a PM10 resulta en una reducción sustancial de la esperanza de vida, los efectos crónicos tienen mayor importancia para la salud pública que los efectos a corto plazo [8].

### 2.3. Caracterización del riesgo

La caracterización cuantitativa del riesgo se realiza integrando información epidemiológica y/o toxicológica (evaluación de la relación entre la dosis del contaminante y la respuesta provocada en el organismo) y la evaluación de la exposición (medición de concentraciones ambientales o utilización de modelos de destino y transporte de contaminantes).

Para el caso de contaminantes atmosféricos, el Cociente de Peligrosidad (para riesgo no cancerígeno) se puede calcular de la siguiente manera [2]:

$$HQ = \frac{C}{RfC} \quad (1)$$

donde

C: Concentración [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

RfC: Concentración de Referencia [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

La magnitud del riesgo es tanto mayor cuanto mayor sea el valor numérico de este cociente. Cuando el Cociente de Peligrosidad supera la unidad, se considera que existe un riesgo inaceptable a la salud por la exposición a un contaminante no cancerígeno.

### 2.4. Concentración de referencia

La Concentración de Referencia (RfC) es la concentración atmosférica bajo la cual se supone no existe riesgo apreciable de sufrir efectos deletéreos para una población (incluidos los subgrupos sensibles) durante toda su vida [9].

Por otra parte, y si bien al día de hoy la ciencia no ha podido determinar una concentración umbral de PM10 bajo la cual no se producen efectos adversos sobre la salud, los organismos referentes a nivel mundial proponen distintos niveles protectivos (niveles guía).

En este trabajo se tomará como Concentración de Referencia (RfC) para riesgos agudos y crónicos, los niveles guía establecidos por la OMS [10] por ser los más restrictivos al respecto.

Riesgo	Nivel Guía [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Tiempo de Promediación
Crónico	20	1 año
Agudo	50	24 horas

Tabla 1. Niveles guía para riesgos a la salud establecidos por la OMS.

Como los términos de la Ecuación 1 deben hallarse sobre la misma base de tiempo, y ya que la OMS establece para los niveles guía tiempos de promediación según sean exposiciones

agudas o crónicas, la concentración debe ser promediada en 24h para estimar los riesgos agudos y en 1 año para estimar los riesgos crónicos.

### 3. CASO DE ESTUDIO

La metodología de evaluación de riesgos a la salud será aplicada al estudio de los efectos sobre la Ciudad de Malagueño de una emisión puntual. Dicha fuente se halla ubicada a aproximadamente 2 kilómetros de la ciudad, con coordenadas geográficas de 31° 28' 59.57'' latitud Sur y 64°21'10.90'' longitud Oeste.

#### 3.1. Parámetros de emisión

La fuente bajo estudio tiene una altura de 30 metros, y un diámetro de 3 metros. Los parámetros de emisión (tasa de emisión de PM10, temperatura y velocidad de salida) utilizados aquí han sido obtenidos de 14 muestreos realizados en el período 2006-2007. En la Tabla 2, se presenta un resumen estadístico de los datos de emisión.

Estadísticos	Temperatura [°K]	Velocidad [m/s]	Tasa de Emisión [g/s]
Media	442.50	12.70	115.28
Error típico	3.84	0.51	4.52
Mediana	445.15	12.70	116.13
Moda	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	14.37	1.90	16.90
Varianza de la muestra	206.37	3.61	285.74
Curtosis	-1.41	-0.94	0.02
Coficiente de asimetría	-0.42	0.19	0.26
Rango	40.00	5.98	59.98
Mínimo	420.15	9.98	90.01
Máximo	460.15	15.96	150.00

Tabla 2. Resumen estadístico parámetros de emisión.

#### 3.2. Datos Meteorológicos

Los datos de dirección y velocidad del viento, estabilidad atmosférica y temperatura ambiente han sido obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y corresponden a 5 años de datos horarios pertenecientes al período 2004-2008. Para el caso de la altura de la capa de mezcla, los datos han sido derivados según metodología propuesta por la EPA [11].

#### 3.3. Topografía del terreno

Para este trabajo se considerará que el terreno es plano y sin obstáculos entre la fuente y los receptores. Además, como menos del 50% de la zona de influencia, determinada por un círculo de 3 kilómetros de radio con centro en el foco emisor, corresponde a zonas industriales, comerciales o de residenciales se considerará que la zona de afectación es del tipo rural [12].

## 4. MAPAS DE RIESGO

### 4.1. Estimación determinista del riesgo: cálculo conservador

Aquí se utilizará el programa Screen3 [13], el cual es un modelo del tipo gaussiano indicado por la EPA como una herramienta de sondeo [12]. Screen es un modelo "conservador" dado que (i) solo estima concentraciones a lo largo del eje de la pluma y (ii) identifica el "peor caso" de condiciones meteorológicas utilizando a una matriz con valores fijos de estabilidad atmosférica versus velocidad del viento.

Clase Estabilidad	Velocidad del viento [m/s]												
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	8	10	15	20
<b>A</b>	*	*	*	*	*								
<b>B</b>	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
<b>C</b>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
<b>D</b>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>E</b>	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
<b>F</b>	*	*	*	*	*	*	*						

Tabla 3. Combinaciones velocidad viento-estabilidad Screen3.

Para hacer una estimación aun más conservadora, se han utilizado como factores de emisión aquellos que producen las concentraciones de PM10 de mayor magnitud. Es decir que de la Tabla 2 se ha tomado la máxima tasa de emisión, la mínima velocidad de salida de los gases y la mínima temperatura.

En las siguientes figuras se pueden ver los mapas de riesgo, en los que la fuente se encuentra en el origen de coordenadas (centro de la figura) con las abscisas creciendo hacia el Este y las ordenadas hacia el Norte.

Como el modelo Screen no tiene en cuenta la dirección del viento, las curvas de nivel obtenidas son del tipo circular.

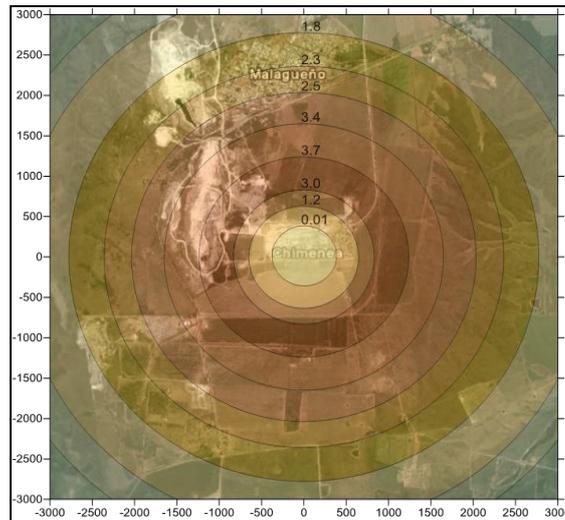


Figura 1. Mapa de riesgo agudo obtenido con Screen3. (zona circundante a la fuente puntual).

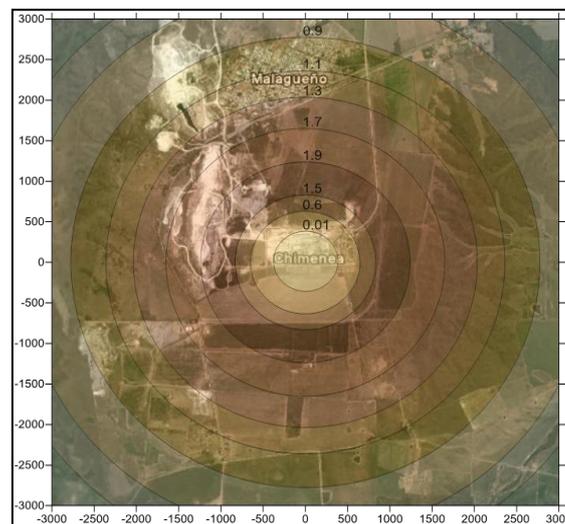


Figura 2. Mapa de riesgo crónico obtenido con Screen3 (zona circundante a la fuente puntual).

Los resultados obtenidos indicarían que la población de la ciudad se halla sujeta a riesgos agudos inaceptables, dado que el Cociente de Peligrosidad en la zona urbana supera marcadamente la unidad ( $HQ_{\text{agudo}} > 1$ ).

En cuanto a los riesgos crónicos, el  $HQ_{\text{crónico}}$  se halla muy próximo a 1 (entre 0.9 y 1.3), indicando que estos se encuentran en el límite de lo aceptable.

Esta situación en que los riesgos son próximos o superiores a los límites aceptables, hace necesario utilizar técnicas que permitan adquirir un conocimiento más detallado mediante la incorporación de más y mejores datos.

#### 4.2. Estimación determinista del riesgo: cálculo detallado

En esta segunda parte, el riesgo será calculado teniendo en cuenta los valores históricos de las variables atmosféricas. Para estimar la concentración de PM10, se utilizará el modelo gaussiano ISC3 [14], clasificado por la EPA como “refinado” [12].

Los mapas que a continuación se muestran, han sido elaborados tomando para cada nodo el valor máximo de concentración (para cada período de promediación). Además los factores de emisión utilizados en esta etapa, son los mismos considerados en la etapa anterior. Es decir que a pesar de ser una estimación de mayor detalle, lleva consigo cierto grado de conservadurismo.

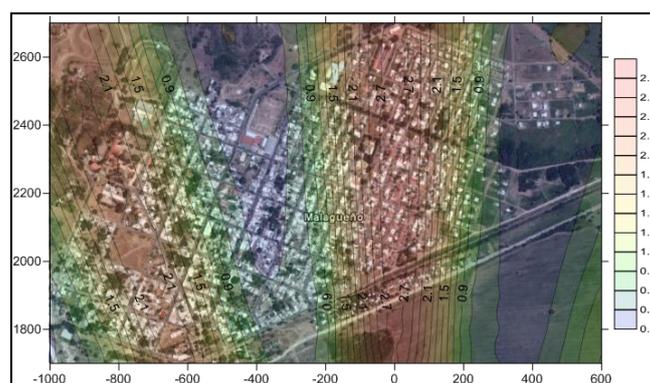


Figura 3. Mapa de riesgo agudo obtenido con ISC (zona urbana de Malagueño).

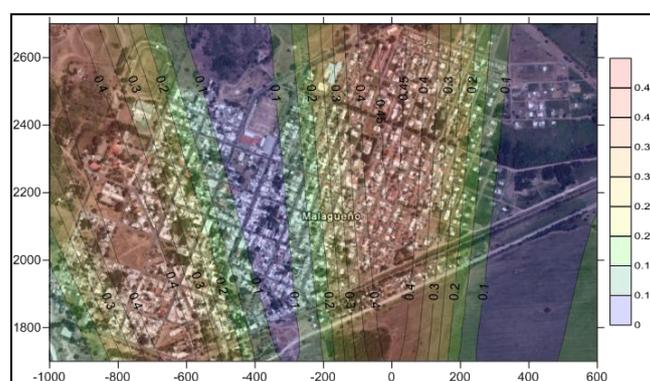


Figura 5. Mapa de riesgo crónico obtenido con ISC (zona urbana de Malagueño).

Se puede observar que el área urbana de Malagueño presenta una importante zona en donde el Cociente de Peligrosidad para riesgos agudos supera la unidad ( $HQ_{\text{agudo}} > 1$ ).

Por otro lado, los riesgos crónicos se encuentran dentro de los límites aceptables, siendo el  $HQ_{\text{crónico}}$  mucho menor a uno en la zona comprendida ( $HQ_{\text{crónico}} < 0.5$ ).

Comparando estos resultados con los obtenidos en el apartado anterior, se puede advertir que las zonas comprometidas son de menor importancia. Esto se debe al mayor nivel de detalle empleado en esta etapa. De todas maneras, y debido a la magnitud de los riesgos agudos, se hace necesaria la implementación de procedimientos más avanzados para incrementar el nivel de información aplicado a la toma de decisiones.

### 4.3. Estimación probabilista del riesgo

Para el modelado llevado a cabo en este apartado, se ha desarrollado un modelo que combina la simulación Monte Carlo con los algoritmos del programa ISC3. En este nuevo modelo, denominado ISC-MC [15], las variables independientes son caracterizadas mediante distribuciones de probabilidad, por lo que los resultados obtenidos (Riesgo) son también distribuciones de probabilidad para un determinado receptor.

Para el caso de las variables de emisión, han sido caracterizadas suponiendo que cada una de ellas sigue una distribución uniforme, definidas por el valor mínimo y máximo (ver Tabla 2).

Las variables atmosféricas, han sido caracterizadas mediante el ajuste de los datos obtenidos del SMN (5 años de datos horarios, período 2004-2008).

A continuación se muestran los mapas de riesgo construidos en esta etapa.

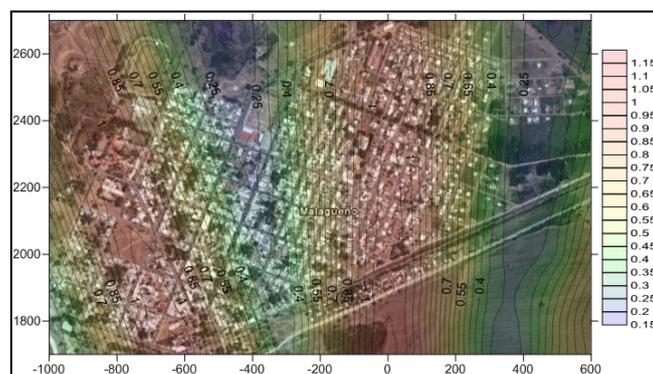


Figura 6. Mapa de riesgo agudo obtenido con ISC-MC (zona urbana de Malagueño).

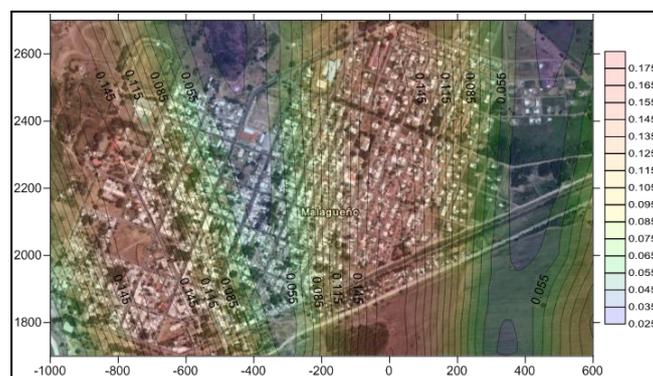


Figura 7. Mapa de riesgo crónico obtenido con ISC-MC (zona urbana de Malagueño).

Dado que según la EPA las decisiones en lo que hace a la gestión de riesgos a la salud, deberían basarse en la cola de la distribución de riesgos [2], en la construcción de los mapas ha sido empleado el Percentil 95 de riesgo para cada receptor.

En la Figura 6, se puede apreciar que los Coeficientes de Peligrosidad obtenidos son aproximadamente un tercio de los calculados anteriormente (Figura 4). De todas maneras

existen zonas en que se supera la unidad, lo que estaría indicando riesgos agudos inaceptables sobre la población.

En la Figura 7 se observa que el  $HQ_{\text{crónico}}$  es muy inferior a uno, siendo los máximos valores hallados próximos a 0.2. Esto indicaría que las emisiones de PM10 suponen riesgos crónicos tolerables. En este caso, las estimaciones representan aproximadamente un 50% de las obtenidas en el apartado anterior (Figura 5).

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo fue estimado el riesgo provocado por la dispersión de material particulado PM10, tomando como caso de estudio una fuente puntual ubicada en las cercanías de la Ciudad de Malagueño. Para ello se aplicó la metodología denominada Evaluación de Riesgo Ambiental, mediante la cual se modelaron los riesgos agudos y crónicos. Dicha evaluación fue realizada en 3 etapas, utilizando progresivamente aproximaciones de mayor complejidad.

En la primera parte la concentración de PM10 fue estimada mediante un modelo de dispersión determinista de sondeo (Screen3), encontrándose la zona urbana de Malagueño en una franja que va de 1.8 a 2.5 para riesgos agudos, y de 0.9 a 1.3 para riesgos crónicos. Como los riesgos estimados son mayores a la unidad y el modelo utilizado es muy conservador, se continuó hacia un nivel de detalle mayor.

En la segunda etapa la concentración fue valorada mediante un modelo de dispersión determinista refinado (ISC3). Si bien los riesgos crónicos aquí calculados en ningún caso superan la unidad ( $HQ_{\text{crónico}} < 0.5$ ), por el contrario los riesgos agudos si lo hacen, alcanzando valores próximos en algunos receptores a las 3 unidades ( $HQ_{\text{agudo}} \approx 3$ ). Por este motivo y además considerando el grado de proteccionismo utilizado (“peor caso” de las variables de emisión) se prosiguió hacia un nuevo nivel de aproximación.

En la última etapa fue considerada la variabilidad de los factores de emisión y de las variables atmosféricas, desarrollando para ello un modelo (ISC-MC) que combina la simulación Monte Carlo con los algoritmos del modelo ISC. Utilizando el Percentil 95 para la construcción de los mapas de riesgo, se encontró que (i) en las zonas afectadas la magnitud del riesgo es muy inferior a las determinadas con los modelos deterministas y (ii) los riesgos agudos para algunos receptores estaría superando la unidad ( $HQ_{\text{agudo}} > 1$ ), indicando la necesidad de tomar acciones correctivas.

En conclusión, la sistemática planteada en este trabajo, mediante la aplicación de técnicas de complejidad creciente provee una visión amplia y pormenorizada de los riesgos provocados por material particulado PM10, proporcionando un marco acorde para la toma de decisiones.

## REFERENCIAS

- [1] EPA. Página Web: [http://www.epa.gov/R5Super/sfd\\_glossary.html](http://www.epa.gov/R5Super/sfd_glossary.html).
- [2] EPA. *Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume III - Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment*. Office of Emergency and Remedial Response. (2002).
- [3] Burmaster D.E. y Willson J.C. “Risk Assessment for Chemicals in the Environment”. *The Encyclopedia of Biostatistics*, John Wiley & Sons, Inc. (1998).
- [4] AEAT. *Quantification of the health effects of air pollution in the UK for the review of the national air quality strategy*. A report produced for The Department of the Environment, Transport and the Regions. Disponible en: <http://www.aeat.co> (1999).

- [5] ALA. *Particulate matter air pollution*. American Lung Association fact sheet (1998).
- [6] WHO. *Guidelines for Air Quality*. World Health Organization. Disponible en: <http://aix.meng.auth.gr/AIR-EIA/METHODS/AQGuide/AQGUIDEpref.pdf> (2000).
- [7] Anderson H.R. *Meta-analysis of time series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3)*. Report of a WHO task group. Disponible en: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/74731/e82792.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/74731/e82792.pdf) (2004).
- [8] WHO. *Particulate matter air pollution: how it harms health*. World Health Organization. Disponible en: <http://www.chaseireland.org/Documents/WHOParticulateMatter.pdf> (2005).
- [9] EPA. *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume 1. Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Office of Emergency and remedial response (1989).
- [10] WHO. *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Summary of risk assessment (2006).
- [11] EPA. *Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources* (1992).
- [12] EPA. *Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions* (2005).
- [13] EPA. *SCREEN3 Model User's Guide* (EPA-454/B-95-006) (1995)
- [14] EPA. *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISCST3) Dispersion Models; Volume I – User Instructions* (EPA-454/B-95-003a.) (1995).
- [15] Díez S., Ré M. y Britch J. Modelado de la concentración de PM10 considerando la variabilidad estocástica de las variables atmosféricas y de emisión. Tercera Reunión Anual PROIMCA (2011).

## **CALIDAD DEL AIRE EN ÁREAS URBANAS E INDUSTRIALES EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA PLATA Y BAHÍA BLANCA.**

**Colman Lerner<sup>1</sup>, J.E.; Morales<sup>2</sup>, A.; Aguilar<sup>1</sup>, M.; Barrionuevo<sup>3</sup>, P.; Ditondo<sup>4</sup>, J.; Porta<sup>1,3</sup>, A.; Massolo<sup>1</sup>, L. y Dodero<sup>2</sup>, V.I.**

1. CIMA, Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. 47 y 115. 1900 – La Plata. Tel./fax: 0221-4229329
2. Departamento de Química-INQUISUR, Universidad Nacional del Sur-CONICET. Av. Alem 1253- 8000- Bahía Blanca – Tel/fax: 0291-4594187.
3. LIS, Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. 47 No 200. 1900 – La Plata. Tel./fax: 0221-4277714
4. Hospital Interzonal General de Agudos “Dr. José Penna. Av. Laínez 2401- 8000-Bahía Blanca. Tel: 0291-4593600

**Palabras Clave:** calidad del aire, compuestos orgánicos volátiles, material particulado

### **Resumen.**

*Se presentan los resultados obtenidos en un estudio de calidad de aire ambiente en dos regiones bonaerenses equiparables, desarrollado en forma conjunta entre el Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (Facultad de Ciencias Exactas, UNLP), el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Facultad de Ingeniería, UNLP) y el Departamento de Química de la Universidad Nacional del Sur, entre 2009 y 2010. En el mismo se analizan las concentraciones de contaminantes ambientales (compuestos orgánicos volátiles, VOCs), y material particulado en suspensión en aire (PM) en aire extramuros. Las regiones estudiadas comprenden las ciudades de Bahía Blanca y La Plata, considerando además sus alrededores. Ambas se caracterizan por poseer un Polo Petroquímico y un casco urbano con destacado tránsito vehicular. La preocupación actual por estos contaminantes reside en su acción sobre la salud humana, tanto como irritantes de mucosas, conjuntivas y del sistema nervioso, como por sus efectos sobre la función pulmonar, desencadenando enfermedades obstructivas crónicas. Se muestrearon 23 VOCs mediante monitores pasivos (3M 3500) y el material particulado (PM10) utilizando un equipo muestreador de bajo caudal MiniVol TAS, en domicilios particulares y escuelas de ambas regiones, diferenciando tres zonas: urbana, industrial y residencial (zona de referencia). Los niveles de VOCs fueron determinados por cromatografía gaseosa/FID, comprendiendo n-alcanos, cicloalcanos, aromáticos, compuestos clorados, terpenoides y cetonas. El contenido de PM10 fue determinado por gravimetría. Los datos recogidos evidencian niveles de PM10 superiores en La Plata respecto de Bahía Blanca en todas las zonas analizadas. Sin embargo, los niveles de VOCs totales encontrados en La Plata son inferiores a los determinados en Bahía Blanca, en las tres zonas referenciadas.*

\* Correspondencia a [aporta@quimica.unlp.edu.ar](mailto:aporta@quimica.unlp.edu.ar)

## INTRODUCCION

La contaminación del aire representa una amenaza importante para la salud pública en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) más de dos millones de muertes prematuras anuales son atribuibles a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos (extramuros) y en espacios cerrados (intramuros). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo [1-4].

Numerosos estudios epidemiológicos ponen en evidencia como la exposición crónica a contaminantes relacionados al tráfico vehicular y la industria química y petroquímica, tales como material particulado (PM), metales, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y gases inorgánicos ( $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ ), produce efectos adversos al desarrollo y la función pulmonar, además del incremento de la morbilidad respiratoria, expresada frecuentemente en término de diagnóstico de asma o enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), e incremento de la mortalidad principalmente en niños. De todo esto resulta importante caracterizar y cuantificar la contaminación del aire, reconocer y evaluar los efectos sobre la salud asociados y caracterizar las posibles fuentes principales de la emisión de los contaminantes [4-12].

Por tal motivo, resulta fundamental conocer los niveles de VOCs y MP en ambientes extramuros para poder asociarlos con efectos observados en la salud. En este contexto se presentan los resultados obtenidos contemporáneamente durante el período 2009 - 2010 en sendas campañas de monitoreo de VOCs y PM en La Plata y Bahía Blanca, y sus respectivas zonas de influencia.

## METODOLOGÍA

### Región de estudio.

Las regiones de La Plata y Bahía Blanca comparten varias características comunes: poblaciones demográfica y socialmente similares, destacada actividad comercial y administrativa (ambos distritos son cabecera regional), educativa (sede de universidades nacionales) y productiva (importantes redes internas de transporte de mercadería y de pasajeros y puerto de referencia con importante movimiento naviero de carga). En ambos distritos se ubican hospitales públicos regionales y sendos Polos Petroquímicos, a unos 5 km de distancia respecto a la ciudad cabecera, con los volúmenes de producción más importantes a nivel nacional [7, 13, 14].

En ambas regiones, en función de las fuentes principales de emisión: tránsito vehicular o Polo Petroquímico, y de la metodología de trabajo aplicada a población infantil (requerimiento de un número mínimo), se seleccionan tres tipos de zonas [7, 13-15]. :

- Zona industrial (Polo petroquímico y adyacencias): caracterizado por las emisiones industriales.
- Casco urbano: presenta como fuente principal de emisión de contaminantes al aire el tránsito vehicular

- Zona blanco o de referencia: Barrios o Población en las zonas externas a la ciudad: residenciales.

En este sentido, el distrito de La Plata, quedan conformados por:

- Ensenada (Polo Petroquímico)
- Casco Urbano de La Plata (tránsito)
- Zona residencial (City Bell, Gonnet y Villa Elisa)

En cuanto a Bahía Blanca las zonas seleccionadas son:

- Ingeniero White (Polo Petroquímico)
- Casco Urbano de Bahía Blanca (tránsito)
- Zona residencial (Altos del Palihue y Patagonia)

### Muestreo COVs.

Se desarrolló un monitoreo durante el período 2009 - 2010, colocando equipos monitores pasivos (3M 3500) en viviendas familiares y escuelas en ambientes extramuros de las distintas zonas. El período de muestreo es de 30 días, período que permite alcanzar la sensibilidad adecuada, y obtener una muestra integrada de la concentración de exposición para quienes habitan en ese lugar. Se colocaron 17 monitores 3M en Bahía Blanca y 31 en La Plata. En todos los casos se dispusieron en domicilios particulares o escuelas a cubierto de la lluvia, entre 1,5 a 2 metros de altura [7, 13, 16-17].

### Análisis de COVs

Fue utilizado un método de separación y cuantificación para 23 VOCs (n-hexano, n-decano, n-dodecano, ciclohexano, metilciclohexano, cloroformo, tetracloruro de carbono, tricloroetileno, tetracloroetileno, 1,2-dicloroetano, metiletilcetona, metil- isobutilcetona, 2-hexanona, benceno, tolueno, etilbenceno, m-xileno, p-xileno, o-xileno, estireno, naftaleno, cumeno y limoneno), mediante el uso de soluciones estándares de los mismos.

El equipamiento y las condiciones óptimas establecidas para la realización de los análisis, son las siguientes: cromatógrafo gaseoso Agilent serie 6890N, columna zebron ZB-624 de 30 m x 320  $\mu\text{m}$  x 1,80  $\mu\text{m}$ , detección FID (250 °C), rampa de temperatura: 35 °C, 7 min; incremento de 4 °C  $\text{min}^{-1}$  hasta 80 °C durante 1 min; nueva rampa 6 °C  $\text{min}^{-1}$  hasta 160 °C durante 3min. Tiempo total 36 min. Inyector modo split (relación 1:1, 145 °C), carrier hidrógeno, caudal de columna 3,7  $\text{ml min}^{-1}$ , programa de adquisición de datos ChemStation revisión A.08.03.

El rango de linealidad para el sistema utilizado (CG-FID) queda comprendido entre 1 y 100  $\text{mg L}^{-1}$  en la inyección, mostrándose en la Tabla 1 los valores de límite de detección en  $\mu\text{g m}^{-3}$  para cada analito. La concentración media C de cada componente (en  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) durante el intervalo de muestreo se calculó según la fórmula adoptada en el Boletín de Aplicación de 3M [18]:

$$C = \frac{m A}{r t}$$

Donde **m** es la masa absoluta del contaminante adsorbido (en  $\mu\text{g}$ ), **t** el intervalo de tiempo muestreado (en minutos), **r** el factor de recuperación [18,19] y **A** es una constante que incluye

el coeficiente de difusión del contaminante [18,19], el área de difusión de la pastilla de carbón activado y la distancia de difusión dentro del muestreador 3M.

### Material particulado.

El muestreo y análisis de material particulado se realizó mediante muestreos de material particulado inhalable (partículas < 10 µm) utilizando un muestreador MiniVol TAS, con una duración de 5 días por zona, registrando el punto de muestreo por georeferenciamiento satelital. El contenido de PM10 en cada muestra se determina por gravimetría [7, 20, 21].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer término se puede destacar que los niveles de VOCs totales, en todas las zonas de Bahía Blanca, son superiores a los correspondientes de La Plata, predominando la zona industrial respecto a la urbana, y ésta respecto a la residencial, independientemente de la región analizada.

En las Figuras 1, 2 y 3 se muestran las medianas de los valores hallados para cada zona de ambas regiones. Las familias de compuestos graficados se definieron de la siguiente forma:

- ***n-Alcanos***: *n-hexano* + *n-decano* + *n-dodecano*
- ***Cicloalcanos***: *cicloalcano* + *metilcicloalcano*
- ***BTEX***: *benceno* + *tolueno* + *etilbenceno* + *(o+m+p) xilenos*
- ***Compuestos clorados***: *cloroformo* + *tetracloruro de carbono* + *1,2-dicloroetano* + *tricloroetileno* + *tetracloroetileno*.
- ***Cetonas***: *metiletilcetona* + *metilisobutilcetona* + *2-hexanona*
- ***Compuestos terpenoides***: *cumeno* + *limoneno*

Respecto a los perfiles de VOCs detectados, en las zonas industriales los valores en Bahía Blanca de n-alcanos prevalecen, mientras BTEX, cicloalcanos y compuestos clorados presentan niveles superiores en La Plata asociados a sus diferentes perfiles productivos (Figura 1). Respecto a familias de VOCs en zona urbana, el distrito de Bahía Blanca presenta los valores superiores de BTEX, n-alcanos y cicloalcanos, mientras que en La Plata sólo predominan clorados, influenciados por su zona industrial (Figura 2). Finalmente, en referencia a las zonas residenciales, sólo son superiores los niveles de BTEX en La Plata, el resto de los valores de cada familia son comparables (Figura 3).

Respecto a la comparación de los valores de VOCs obtenidos, es interesante señalar que si bien en general los de la Plata son menores, esto es cierto al comparar con los niveles actuales, que son producto de un acuerdo entre las empresas del Polo Petroquímico y el Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible (OPDS). Este acuerdo surgió también a raíz de la presentación de los resultados de estudios previos para la región platense que fueron oportunamente presentados a dicho organismo junto a una propuesta de control y fiscalización.

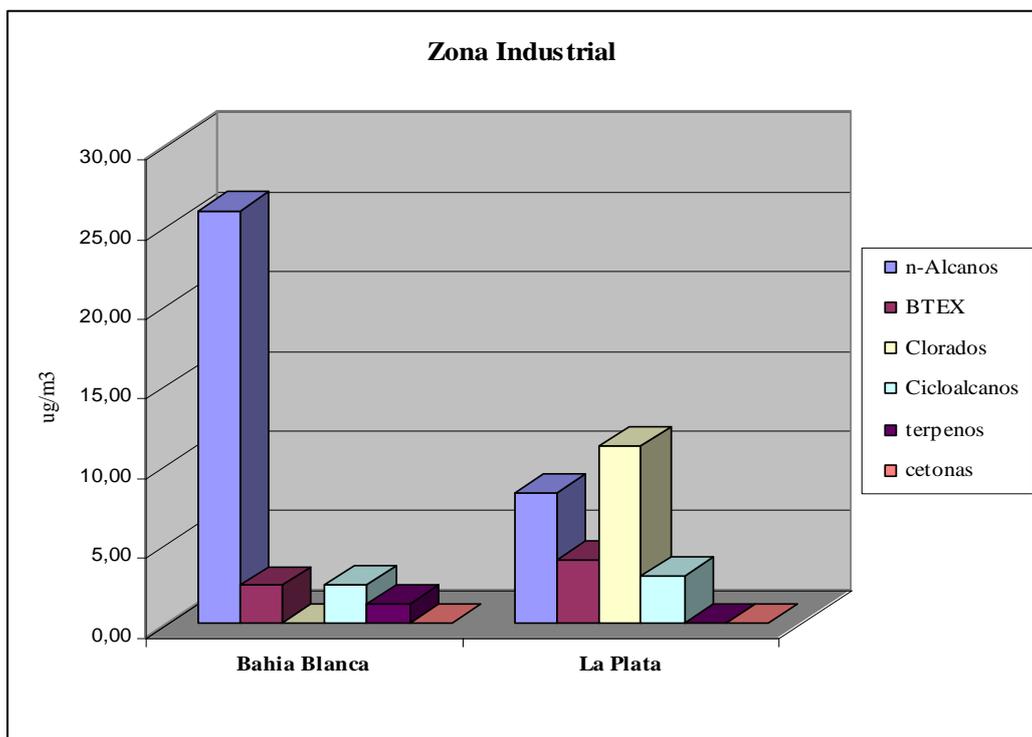


Figura 1. Perfiles de VOCs comparados La Plata y Bahía Blanca, zona industrial

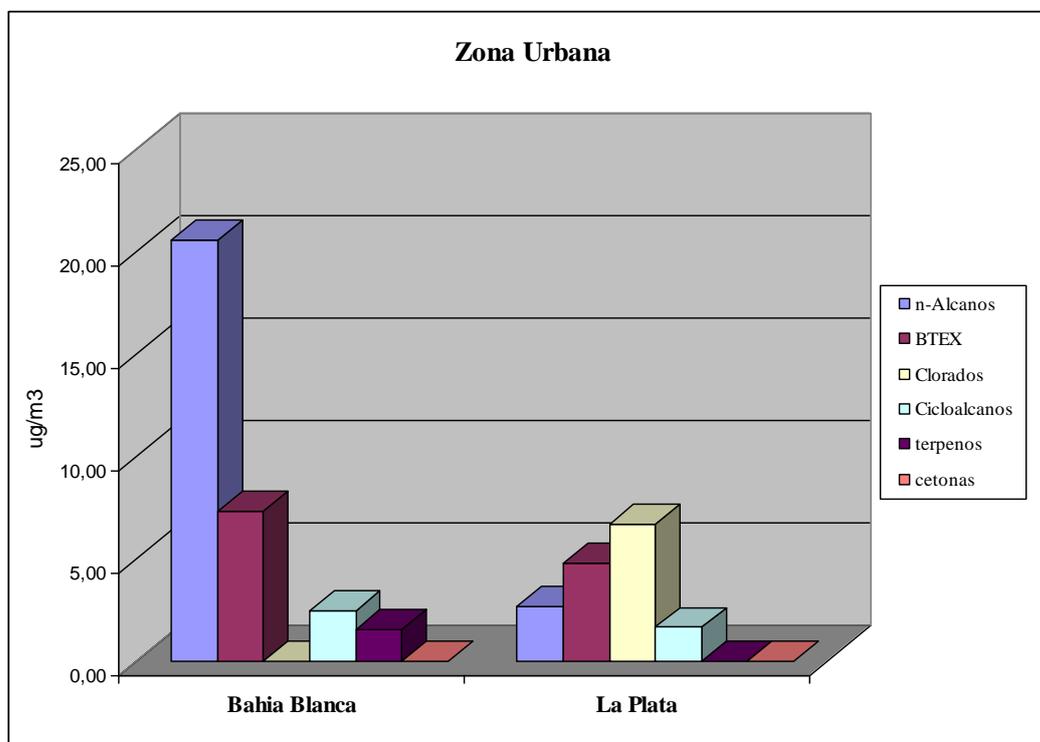


Figura 2. Perfiles de VOCs comparados La Plata y Bahía Blanca, zona urbana.

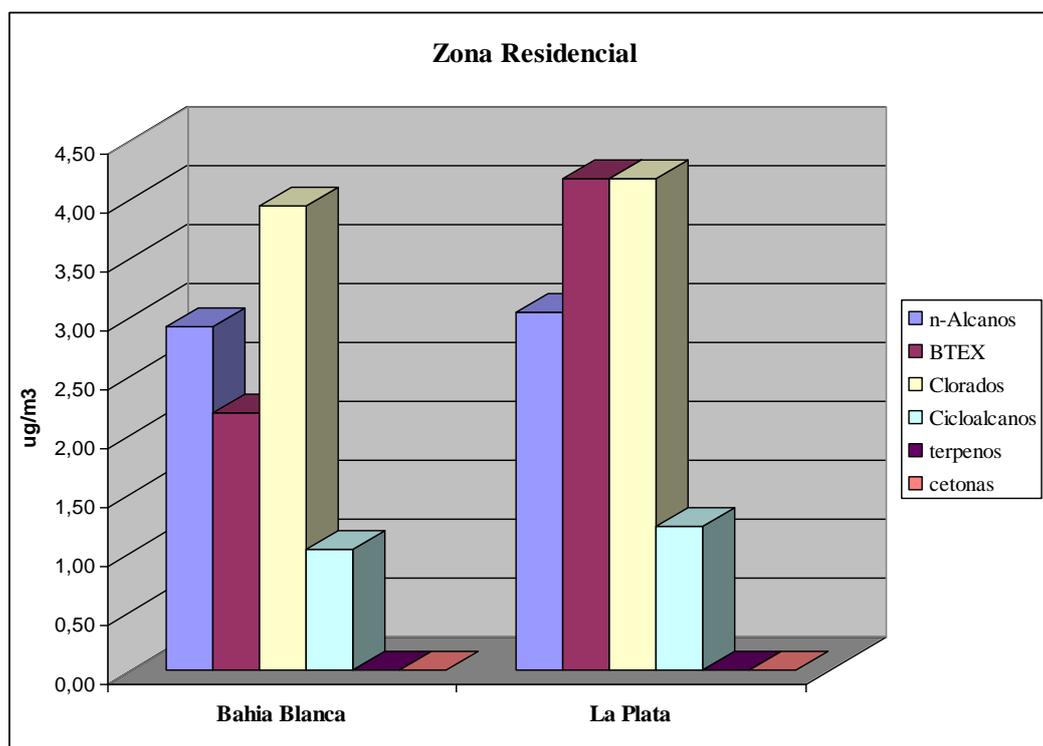


Figura 3. Perfiles de VOCs comparados La Plata y Bahía Blanca, zona residencial.

En efecto, si los valores encontrados en Bahía Blanca se compararan con los correspondientes a las campañas de VOCs extramuros en La Plata y alrededores en el período 2000-2004, podría observarse como estos últimos serían los de mayor valor. Es decir, los niveles de VOCs en la Plata disminuyeron, luego de una efectiva acción del organismo de regulación, situación que podría también cumplirse en Bahía Blanca conocidos los niveles que allí se encuentran.

Respecto del material particulado, se observa que mientras en la zona industrial el predominio de La Plata es destacado, en la zona urbana se invierte la situación, con valores equiparables en las zonas residenciales.

Región	Bahía Blanca ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	La Plata ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
<i>industrial</i>	40,5	61,97
<i>urbana</i>	47,9	31,51
<i>residencial</i>	18,4	14,43

Tabla 1: Valores de PM10 para las distintas zonas en cada región

El control de los niveles de PM es sumamente importante, dada la asociación directa entre éstos y el incremento tanto de enfermedades respiratorias, como de mortalidad. Para ilustrar esta afirmación se presentan las Tablas 2 y 3 con valores relevados en el distrito platense en estudios anteriores, referidas a la prevalencia de enfermedades respiratorias y parámetros funcionales respiratorios, por zona, respectivamente

Afección respiratoria	Industrial	Casco urbano	Residencial
<b>Asma (%)</b>	24.8 %*	11.5 %	10.5%
<b>Asma exacerbada<sup>1</sup></b>	6.7 ± 2.5	3.6 ± 2.8	3.1 ± 2.7
<b>Sintomatología (%)</b>			
• Sibilancia	• 27.9 %*	• 15.6 %	• 13.5 %
• Disnea	• 20.4 %*	• 12.2 %	• 11.4 %
• Tos nocturna	• 32.4 %*	• 19.7 %	• 13.7 %
• Rinitis	• 16.9 %*	• 13.7 %	• 9.9 %

<sup>1</sup> Asma exacerbada promedio (±SD) de las crisis de asma sufrida en los últimos 12 meses.

\* con significancia estadística respecto a la zona control (p<0.001)

**Tabla 2: Prevalencia de afecciones respiratorias en cada zona.**

Parámetros funcionales respiratorios <sup>1</sup>	Zona industrial	Zona urbana	Zona residencial
FVC (%)	107.4 ± 15.7	12.7 ± 18.4	114.1 ± 20.1
FEV1 (%)	91.4 ± 12.5*	105.9 ± 15.6	107.8 ± 14.7
FEV1/FVC (%)	80.4 ± 7.6*	93.1 ± 3.8	91.6 ± 3.0
FEF25-75(l/s) (%)	96.8 ± 26.8*	117.8 ± 16.3	137.9 ± 28.4
BDR2 (%)	7.9 ± 9.8	4.5 ± 5.2	3.0 ± 4.1

<sup>1</sup> Parámetros funcionales respiratorios presentados como valores grupales promedio (± SD)

<sup>2</sup> BDR: respuesta al broncodilatador; cambios en el FEV1 (%) luego de su administración

\* con significancia estadística respecto a la zona control (p<0.001)

**Tabla 3: Evaluación espirométrica por zona.**

## CONCLUSIONES

Mediante este estudio ha sido posible medir los niveles de VOCs y PM10 en dos regiones de la Provincia de Buenos Aires que presentan importantes similitudes entre si, entre las que se destacan la cercanía de un relevante Polo Petroquímico y un importante parque automotor.

De la comparación de los valores encontrados en este primer período analizado, las tendencias son similares, e incluso se advierten niveles en Bahía Blanca intermedios entre los encontrados en La Plata durante la campaña 2000-2004 y la actual, estos últimos

sustantivamente menores como resultado de un mayor control del OPDS. Por otra parte, si bien los niveles de VOCs totales en Bahía Blanca son superiores a los hallados en La Plata, las respectivas distribuciones de las familias de contaminantes en cada zona son distintas en función de sus diferentes perfiles productivos.

Si bien, por tratarse de la primera etapa de un estudio que involucra parámetros de salud éstos aún no han sido relevados en la región bahiense, al comparar los valores de contaminantes hallados en La Plata y los efectos medidos en la población infantil se infiere que será altamente probable encontrar efectos similares en los niños de Bahía Blanca. Esta suposición de todos modos debe ser comprobada con datos de campo, y es el objetivo de la nueva etapa emprendida recientemente por los autores del trabajo

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue desarrollado mediante subsidios recibidos del Fondo para las Américas, la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Universidad Nacional del Sur.

JE. Colman Lerner es becario del Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Nación (CONICET). A. Porta y V. Doderó son miembros de la carrera Investigador Científico de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC PBA) y el CONICET, respectivamente.

## REFERENCIAS

- [1]. Organización Mundial de la Salud. “Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005”. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, OMS, (2006). [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)
- [2]. World Health Organization. “Environmental Health Criteria 239. Principles for Modelling Dose–Response for the Risk Assessment of Chemicals”. Published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Programme, the International Labour Organization and the World Health Organization, Geneva, (2009).
- [3]. World Health Organization. “Environmental Health Criteria 237. Principles for Evaluating Health Risks in Children Associated with Exposure to Chemicals”. Published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Programme, the International Labour Organization and the World Health Organization, Geneva, (2006).
- [4]. Leikauf GD. “Hazardous Air Pollutants and Asthma”. *Environmental Health Perspectives, Vol. 110 (Supplement4): 505-526*, (2002).
- [5]. Weisel CP. “Assessing Exposure to Air Toxics Relative to Asthma”. *Environmental Health Perspectives, VOL. 110 (Supp. 4): 527-537*, (2002).
- [6]. Gauderman WJ, Gilliland F, Vora H. “Association between air pollution and lung function growth in southern California children. Results from a second cohort”. *Am J Respir Crit Care Med*; 166:76-84, (2002).
- [7]. Massolo L. “Exposición a contaminantes atmosféricos y factores de riesgo asociados a la calidad de aire en La Plata y alrededores”. Tesis doctoral aprobada, Facultad Ciencias Exactas, UNLP. Directores: A. Ronco y A. Porta, (2004).

- [8]. Ostro B. "Outdoor air pollution. Assessing the environmental burden of disease at national and local levels". *Environmental Burden of Diseases Series No 5*. World Health Organization. Protection of the Human Environment. Geneva, (2004).
- [9]. Blanco ER. "Variables e indicadores de gestión en el marco de políticas públicas. La contaminación atmosférica y la salud de la población en la Micro región La Plata, Berisso y Ensenada". Tesis de Maestría aprobada en la Maestría Gestión Ambiental para el Desarrollo Urbano, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UN Mar del Plata, Diciembre. Director A. Porta, (2008).
- [10]. IPCS, International Programme on chemical safety. *Environmental Health criteria 214: Human Exposure Assessment*. Geneva, World Health Organization, (2000).
- [11]. Sexton K, Adgate J, Ramachandran G, Pratt G, Mongin S, Stock T, Morandi M. "Comparison of personal indoor and outdoor exposure to hazardous air pollutants in three urban communities". *Environmental Science & Technology*; 38:423-430, (2004).
- [12]. Elliott L., MP. Longnecker, GE. Kissling & SJ. London. "Volatile Organic Compounds and Pulmonary Function in the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988–1994". *Environ. Health Perspectives*, 114: 1210-1214, (2006).
- [13]. Cianni N., A. Müller, P. Lespade, M. Aguilar, N. Matamoros, E. Colman, M. Martín, V. Chiapperini, L. Bussi, L. Massolo, F. Wichmann, A. Porta. "Calidad del aire y salud infantil en áreas urbanas e industriales de La Plata y Ensenada, Argentina". En: *Contaminación Atmosférica en Argentina. Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMC*". Editores: E. Puliafito & N. Quaranta, 37-44. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, (2009).
- [14]. Gobierno Municipal de Bahía Blanca. Dirección de producción y desarrollo. Polo tecnológico Bahía Blanca. <http://www.bahiablanca.gov.ar/empresario/polotec.html>
- [15]. Gobierno Municipal de Bahía Blanca. Subdirección Estadísticas. Información Estadística. <http://www.bahiablanca.gov.ar/estadistica/>
- [16]. Wichmann FA., LE. Busi, NF. Cianni, L. Massolo, A. Müller, A. Porta, PD. Sly. "Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution". *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 12 (3): 632-638, (2009).
- [17]. Massolo L., Rehwagen M., Porta A., Herbarth O., Ronco A., Müller A. "Indoor-outdoor distribution and risk assessment of volatile organic compounds in the atmosphere of industrial and urban areas". *Environmental Toxicology*, 25(4): 339-349, (2010).
- [18]. Guía de Toma de muestras y análisis para monitores de vapores orgánicos 3500 y 3520, 3M, (1999).
- [19]. Colman Lerner JE; Porta A. "Uso de monitores de difusión pasiva en estudio de calidad de aire. Estudio de recuperación de compuestos orgánicos volátiles adsorbidos". *ACTAS del XXVII Congreso Argentino de Química. Tucumán, Septiembre (2008)*.
- [20]. Rehwagen M, Müller A, Massolo L, Herbarth O, Ronco A. "Polycyclic aromatic hydrocarbons associated to particles in ambient air from urban and industrial areas". *Sci. of the Total Environ*; 348, 199– 210, (2005).
- [21]. Massolo L; Müller A; Rehwagen M; Porta A, Herbarth, O; A. Ronco. "Estimación del riesgo asociado a PAHs en ambientes urbanos e industriales. Contaminación Atmosférica en Argentina. *Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA*. Editores: E. Puliafito & N. Quaranta. UTN, Buenos Aires, 45-54, (2009).



## **POLVOS SEDIMENTABLES (PS) EN SAN MIGUEL DE TUCUMÁN**

**Neme, N.\*; Moya, N. S; Murillo, M. D.; Gianetto, E.F. y Vega Caro, L.**

Centro de Investigación en Ingeniería Ambiental - CEDIA

Facultad Regional Tucumán

Rivadavia 1050

e-mail: nemenadim@hotmail.com.ar; susana\_moya2004@yahoo.com.ar; emm@tucbbs.com.ar;

vecagi@hotmail.com

**Palabras clave:** Polvo, Sedimentable, Tucumán

**Resumen.** *Para el estudio de polvos sedimentables del aire en San Miguel de Tucumán se han establecido cuatro (4) estaciones de muestreo seleccionadas según la concentración de la población en la zona, la actividad humana, las calles y avenidas muy transitadas, existencia de algunas industrias contaminantes y algunas obras de caminos que emiten grandes cantidades de partículas hacia el aire. Se ha utilizado el método gravimétrico, por diferencia de pesos. Obteniéndose valores mensuales durante dos años. Con un concentración media de sólidos totales sedimentables en el aire de 1 miligramo/cm<sup>2</sup> x 30d. Con variaciones superiores dependiendo del mes, pero manteniendo el valor para el segundo año en el mismo mes. En cada estación se instala una columna de hierro de dos metros de altura con un frasco plástico de muestreo de 13.5cm de altura y de 12 cm diámetro interior y de 5m de distancia de paredes. Se considera que la concentración de sólidos totales sedimentables en el aire es de 1 miligramo/cm<sup>2</sup> x 30d. Después de analizar los datos encontramos que el ambiente atmosférico de San Miguel de Tucumán está contaminado de partículas orgánicas e inorgánicas, en especial polvo de tierra y microscópicamente esporas de vegetales, hongos, pelos de animales y malojas de la caña de azúcar.*

### **1. INTRODUCCIÓN**

Sabemos que la ciudad de San Miguel de Tucumán está en constante expansión, por el aumento poblacional, en forma horizontal y verticalmente en todas las direcciones desde el centro de la ciudad, acompañada del aumento de la actividad industrial y en especial la azucarera las que producen las grandes poluciones por la quema de caña en la época de zafra sumado la actividad del desmonte en la zona aledaña a la ciudad para la producción agrícola y ganadera, la apertura de nuevos caminos y rutas con consecuencias adversas incrementando el aumento de los polvos sedimentables totales en el aire. Cuya consecuencia directa son las enfermedades respiratorias, en especial para niños y ancianos indefensos.

### **2. MATERIALES Y METODO**

Los materiales utilizados pertenecen al laboratorio del CEDIA de la FRT y han sido Microscopio óptico, Estufa de secado, Mufla, Balanza Mettler de precisión, Baño maría, Peachímetro Corning, heladera, Computadora, Frasco de muestreo plásticos para polvos sedimentables, Destilador, Material de vidrio y otros.

Usando el método gravimétrico y eligiendo cuatro estaciones de muestreo ubicadas en zonas consideradas de mayor concentración de contaminantes del aire y teniendo en cuenta la cantidad de los habitantes, industria, actividad comercial, transporte y zonas de actividades que causan contaminación por partículas como ser las zonas cercanas a aperturas de rutas y caminos donde hay mucho movimiento de tierra. Se establecieron la Estación N° 1, ubicada en la terraza de la FRT en calle Rivadavia 1050; Estación N° 2, ubicada en la Avenida Juan B. Justo al 1200; la Estación N° 3, ubicada en el radio céntrico calle Córdoba y 25 de Mayo y por último la Estación N° 4, ubicada en la Avenida Independencia N° 2500.

En cada estación se instala una columna de hierro de dos metros de altura y en la parte superior se coloca un brazo metálico para sujetar un frasco plástico de muestreo de 13.5cm de altura y de 12cm diámetro interior y de más de 5m de distancia de paredes adyacentes que pueden impedir la circulación libre del aire (Fig. 1).

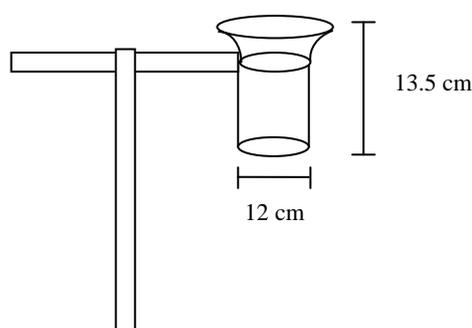


Fig. 1 – Esquema Columna de Muestreo.

Al iniciar el ensayo se lavan los recipientes con agua y solución diluida de detergentes para no afectar la pared interior de los frascos y luego se los enjuaga con agua destilada agregando posteriormente a cada frasco 200 ml de agua destilada para fijar las partículas sedimentables del aire antes de colocar el frasco en la columna de muestreo en las épocas que no llueve. Se colocan los frascos en las columnas en el primer día hábil de cada mes y deben ser bien sujetos a la columna para no ser derribados por el viento y a los 30 días y primer día hábil se recoja los frascos previa colocación de las tapas y trasladándolos al laboratorio para su procesamientos y en caso que no contengan agua se les agrega agua destilada para diluir los polvos y lavar los frascos pasando todo con un volumen de agua de 500ml a un vaso de precipitación de un litro de capacidad previo paso por un colador para separar las pelusas, hojas de plantas, mosquitos, mariposas etc. Y se concentra el líquido en baño María o estufa a 100 grados de temperatura hasta un volumen de 200ml y se lo pasa a una capsula de porcelana tarada y se lleva a una estufa de secado 100 grado de temperatura, pasando la capsula a enfriar en un frasco de secado, luego se pesa la capsula en una balanza analítica y por diferencia de peso se saca el valor de los polvos sedimentables mensualmente por el termino de dos años de estudio.

### 3. RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron para el *primer año* de partículas de *sólidos totales sedimentables* se muestran en la Tabla 1, y para el *segundo año* se encuentran en la Tabla 2.

Año 1	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Est 1	1,13	1,85	0,81	2,08	0,87	-	1,78	1,78	6,57
Est 2	7,28	1,11	1,9	-	-	2,94	1,98	3,6	2,55
Est 3	5,11	0,73	1,06	7,67	1,96	3,99	0,98	1,35	1,41
Est 4	4,85	7,92	5,74	5,88	5,12	3	3,7	2,88	2,58

Tabla 1 - Partículas de Sólidos Totales Sedimentables en el Aire del Primer Año en  $\text{mg}/\text{cm}^2$  30d.

Año 2	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Est 1	1,21	1,68	0,87	1,2	0,45	1,19	0,82	1,21	1,29
Est 2	1,86	1,58	2,83	2,07	0,93	0,67	2,07	0,3	0,56
Est 3	1,66	1,97	0,93	1,28	2,02	1,84	2,5	1,81	1,55
Est 4	4,16	5,1	4,98	4,32	4,48	3,96	3,03	-	-

Tabla 2 - Partículas de Sólidos Totales Sedimentables en el Aire del Segundo Año en  $\text{mg}/\text{cm}^2$  30d.

Los resultados que se obtuvieron para el *primer año* de partículas de *sólidos fijos sedimentables* se muestran en la Tabla 3, y para el *segundo año* se encuentran en la Tabla 4.

Año 1	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Est 1	0,69	1,19	0,55	1,57	0,52		1,43	1,43	5,77
Est 2	5,1	0,68	1,04			2,62	1,95	3,07	2,17
Est 3	3,13	0,47	0,84	7,22	0,63	2,21	0,51	1	1,19
Est 4	3,49	6,08	4,21	4,53	3,38	2,23	2,73	1,89	1,69

Tabla 3 - Partículas de Sólidos Fijos Sedimentables en el Aire del Primer Año en  $\text{mg}/\text{cm}^2$  30d.

Año 2	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Est 1	0,78	1,25	0,75	1,04	0,27	1,01	0,73	0,98	1,23
Est 2	1,29	1,38	2,66	1,89	0,75	0,48	1,66	0,32	0,32
Est 3	1,15	1,64	0,77	1,06	1,17	0,9	1,23	1,49	0,91
Est 4	2,95	4,35	3,97	3,42	3,21	2,72	1,9		

Tabla 4 - Partículas de Sólidos Fijos Sedimentables en el Aire del Segundo Año en  $\text{mg}/\text{cm}^2$  30d.

Los resultados que se obtuvieron para el *primer año* de partículas de *sólidos volátiles* se muestran en la Tabla 5, y para el *segundo año* se encuentran en la Tabla 6.

Año 1	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Est 1	0,44	0,66	0,26	0,51	0,35		0,35	0,35	0,8
Est 2	2,18	0,43	0,86			0,32	0,03	0,53	0,38
Est 3	1,98	0,26	0,22	0,45	1,33	1,78	0,47	0,35	0,22
Est 4	1,36	1,84	1,53	1,35	1,74	0,77	0,97	0,99	0,89

Tabla 5 - Partículas de Sólidos Volátiles en el Aire del Primer Año en mg/cm<sup>2</sup> 30d.

Año 2	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Est 1	0,43	0,43	0,12	0,16	0,18	0,18	0,09	0,23	0,06
Est 2	0,62	0,2	0,17	0,18	0,18	0,19	0,41	0,03	0,24
Est 3	0,51	0,33	0,16	0,22	0,85	0,94	1,27	0,32	0,64
Est 4	1,21	0,75	1,01	0,9	1,27	1,24	1,13		

Tabla 6 - Partículas de Sólidos Volátiles en el Aire del Segundo Año en mg/cm<sup>2</sup> 30d.

#### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Se considera que la concentración de sólidos totales sedimentables en el aire es de 1 mg /cm<sup>2</sup> x 30d.

##### 4.1 Para sólidos totales sedimentables

Analizando los datos recogidos (Figura 1) de la *Estación N° 1* en varias épocas del año se obtienen estos valores que se corresponden a los meses de mayo, julio, octubre, noviembre y diciembre de 2006 y para los meses de abril, mayo, julio, septiembre y diciembre de 2007. Esta estación está ubicada a 2 cuadras de 2 avenidas importantes como la Av. Sarmiento y Juan B. Justo y a 16 m sobre el nivel de la calle. Para la *Estación N° 2* tiene los valores de contaminación más altas en los meses de abril, junio, septiembre, noviembre y diciembre de 2006 y los meses de abril, mayo, junio y octubre de 2007. Se encuentra a una altura de 10 m de nivel de la Av. de mucho tránsito vehicular de gran porte y movimiento comercial. En la *Estación N° 3* los valores son altos en los meses de abril, julio, agosto, septiembre de 2006 y los meses de abril mayo, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2007. Cuya ubicación es en zona céntrica de mucho tránsito vehicular y movimiento poblacional la gran parte del día y la noche. Se encuentra a una altura de 28 m del nivel de la calle. Para *Estación N° 4* los valores se encuentran muy aumentados en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2006 y se repite en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 2007. Esta estación está en una calle de tierra y parte enripiada con mucha actividad de construcción y movimiento de vehículos, a los 4 m de altura del nivel de la calle. La gente de la zona se queja permanentemente de la cantidad de tierra que se encuentra en el aire, por los ardores en la garganta, en los ojos, picazón en la nariz y en todo el cuerpo. Además de ver la tierra que les ensucia la ropa tendida, los muebles y las plantas de los jardines.

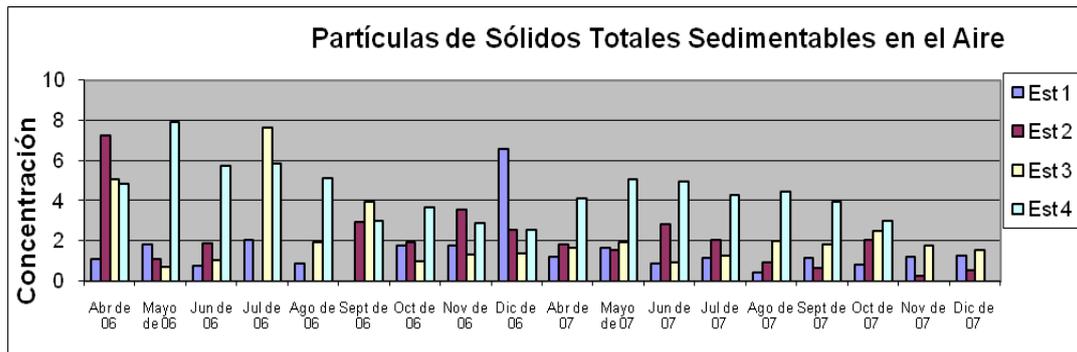


Figura 1: Partículas de Sólidos Totales Sedimentables en el Aire

#### 4.2 Para sólidos fijos

En los casos de las partículas de sólidos fijos (Figura 2) los valores de la *Estación N°1* son altos en los meses de mayo, julio, octubre, noviembre y diciembre de 2006 y en los meses de mayo y diciembre de 2007. Para la *Estación N°2* están aumentados en los meses de abril, septiembre, noviembre y diciembre de 2006, y en los meses de abril, mayo, junio, julio, octubre de 2007. En la *Estación N°3* los valores se encuentran aumentados en los meses de abril, julio, septiembre de 2006 y poco aumentados en los meses de mayo y noviembre de 2007. Para la *Estación N°4* los valores están aumentados en casi todo los meses de los años 2006 y 2007.

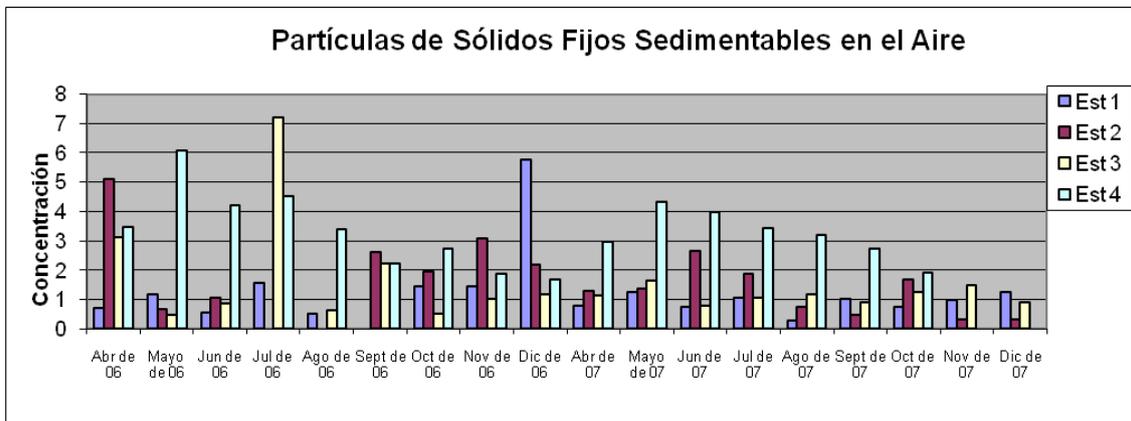


Figura 2: Partículas de Sólidos Fijos Sedimentables en el Aire

#### 4.3 Para partículas de los sólidos volátiles

En el caso de las partículas de los sólidos volátiles (Figura 3) en la *Estación N°1* están aumentados en los meses de abril, agosto, septiembre y octubre de 2006 y noviembre de 2007.

En la *Estación N° 2* están aumentados en los meses de abril, junio del 2006 y abril de 2007. Para la *Estación N° 3* los valores se encuentran aumentados en los meses de abril, agosto, septiembre de 2006 y los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre de 2007. Y en la *Estación N° 4* los valores se encuentran aumentados en casi todo los meses de los años 2006 y 2007.

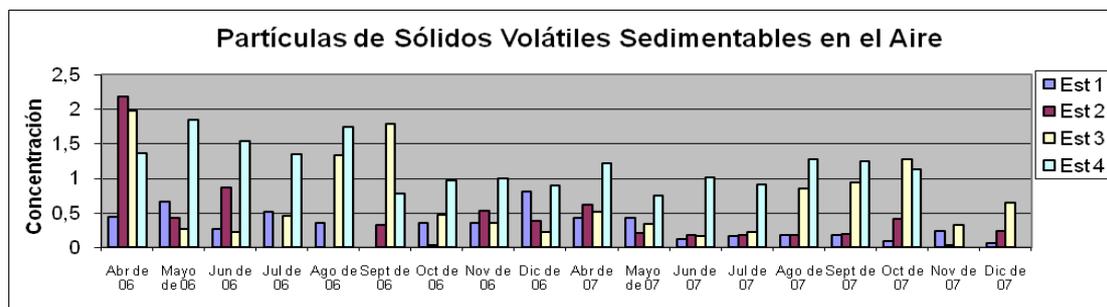


Figura 3: Partículas de Sólidos Volátiles en el Aire

## 5. CONCLUSIÓN

- Se encontró que el ambiente atmosférico de San Miguel de Tucumán está muy contaminado de partículas orgánicas e inorgánicas y en especial polvo de tierra.
- En observación de análisis microscópicos hay esporas de vegetales, hongos y pelos de animales.
- En observación macroscópica se encuentra una gran cantidad de malojas por la quema de la caña de azúcar en la época de la zafra.
- Conviene repetir los estudios analizando las partículas PM10 al ser promotores principales de todas las enfermedades respiratorias y en especial a las del nivel alveolar. Acompañando este estudio con un censo que permita reflejar el número de personas que padecen enfermedades respiratorias a consecuencia de esos contaminantes en la zona de muestreo.
- Plantear el tema a nivel de autoridades gubernamentales de la provincia para hallar la solución de este gran problema que afecta la salud y el bienestar de la población.

## REFERENCIAS

- [1] Tyler Miller Jr. - *Ciencia Ambiental, Desarrollo Sostenible Un Enfoque Integral, Preservamos la tierra*. Editorial Thomson; 2004.
- [2] Enkerlin E. C. y col. - *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*. Editorial Thomson; 2007.
- [3] Mackenzie L. D. y col. - *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Editorial Mc Graw Hill; 2007.

## **INFLUENCIA DEL EMPLEO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES EN LAS EMISIONES GASEOSAS DE CALDERAS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.**

**Vidal, Carlos D.\*; Pagnan, Mariángeles; Pepino Minetti, Roberto C. ;  
Fonseca, José M. y Macaño, Héctor R..**

SIQA (Serv. de Ingeniería Química y Ambiental)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro Marcelo López esq. Av. Cruz Roja Argentina  
Ciudad Universitaria - (X5016ZAA) Córdoba – ARGENTINA  
e-mail: cvidal@quimica.frc.utn.edu.ar, web: www.siqua.com.ar

**Palabras clave:** Gases de combustión, material particulado, calderas, Reunión PROIMCA.

**Resumen** *En Argentina la actividad láctea representa uno de los sectores de gran influencia en la economía nacional. Su considerable crecimiento desde hace diez años ha generado a su vez el aumento en el número de calderas utilizadas para la provisión de vapor a dichos procesos, las cuales constituyen fuentes puntuales de contaminación debido a la emisión tanto de gases de combustión como de material particulado proveniente de la combustión de los diferentes combustibles utilizados. Córdoba por su parte participa con un tercio de la producción nacional, por lo que el estudio de las emisiones resulta de gran importancia. El objetivo de este trabajo consiste en determinar la influencia de la utilización de diferentes combustibles en las emisiones de gases de combustión y material particulado a la atmósfera, mediante el análisis de datos reales de mediciones realizadas a calderas humotubulares en la provincia de Córdoba. Por ello se analizan las emisiones de los siguientes contaminantes: óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), material particulado y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), este último fue considerado por su aporte al calentamiento global, todos ellos generados por la utilización principalmente de gas natural, fuel-oil y leña como combustibles de caldera.*

### **1. INTRODUCCIÓN**

La combustión de diferentes combustibles genera variados compuestos y en distintas concentraciones, a su vez las condiciones de operación influyen directamente en las emisiones, por lo cual para lograr realizar un estudio completo resulta imprescindible contar con datos reales de calderas operando en condiciones normales de proceso con el empleo de diferentes combustibles.

Para este estudio se seleccionaron los monitoreos realizados por SIQA (Serv. de Ingeniería Química y Ambiental, perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional) en 35 calderas humotubulares durante los años 2008, 2009 y 2010 en industrias lácteas de la Provincia de Córdoba, las cuales se encontraban trabajando en condiciones normales de operación. Las

mediciones se llevaron a cabo de acuerdo a métodos de referencia publicados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA). Todos los valores arrojados serán comparados con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente aplicable para poder determinar cuál es el combustible más eficiente en calidad de emisiones, analizando los parámetros significativos según la legislación nacional y lo estipulado según la US-EPA.

## 2. ETAPA EXPERIMENTAL

Una caldera es una instalación en la que se emplea calor, para producir vapor o agua caliente, para ser utilizados fuera de la instalación. El calor se obtiene quemando distintos combustibles orgánicos, o bien de procesos tecnológicos, de la energía eléctrica o de gases de escape calientes. En las *calderas acuotubulares*, es el agua la que circula por el interior de los tubos que conforman el circuito cerrado a través del calderín o calderines (domo superior y domo inferior), que constituyen la superficie de intercambio de calor de la caldera. Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser sobrecalentadores, recalentador, economizador, etc. En cambio, en las calderas del tipo *humotubulares*, se denominan así por ser los gases calientes, procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo interior esta bañado por el agua de la caldera. El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, se los hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Según sea la cantidad de veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En caso de calderas de varios pasos, en cada uno de éstos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea. El diseño de las calderas implica la interacción de muchas variables: circulación de agua y de vapor, características del combustible, sistemas de combustión y acceso del calor, así como transmisión del mismo [1]. La configuración del hogar y su tamaño están determinados por las necesidades de combustión, por las características del combustible, por las normas relativas a la emisión de efluentes gaseosos y de material particulado. El gas natural ha llegado a ser el principal combustible elegido, el carbón es el segundo más importante y por último el Gas oil. De este modo se procede a la descripción de la metodología empleada en la medición de cada compuesto.

### 2.1. Material Particulado

En emisión es considerado como el total de partículas que se obtienen del proceso de combustión y que son liberadas al ambiente por una fuente puntual. La US-EPA estipula dos métodos de medición para este parámetro que son el método 5 y método 17. En el primero, el filtro se encuentra ubicado en la caja caliente a 120 °C y el material particulado se define como la masa que queda retenida en el filtro a 120 °C. En el segundo, el filtro se encuentra en el extremo frontal de la sonda, y el material particulado se define como la masa retenida a la temperatura de chimenea. La medición de este parámetro requiere de una serie de condiciones que resultan críticas para su determinación. El principal requerimiento de esta medición es la isocineticidad en el muestreo. Esto implica que la velocidad de los gases en la toma de muestra debe ser igual a la velocidad dentro del conducto monitoreado. Suponiendo régimen

laminar dentro del conducto, se tienen diferentes velocidades en las paredes y en el centro del mismo, por lo que se deben seleccionar una serie de puntos en la sección transversal de la chimenea y medir la velocidad en cada punto en los cuales se tendrá la condición de isocineticidad deseada. Finalmente la determinación de material particulado total para este estudio se realiza mediante lo estipulado por el método 5 [6] la cual expresa que se debe:

- Determinar la cantidad de puntos según EPA1 [2]
- Determinar velocidad y temperatura en cada punto según EPA2 [3]
- Determinar la masa molar del gas según EPA3 [4]
- Determinar la humedad del gas según EPA4 [5]

## **2.2. Gases de Combustión**

La medición de gases de combustión es de menor complejidad que la de material particulado pero sus concentraciones variarán notoriamente con el uso de diferentes combustibles, por lo cual resulta fundamental conocer la metodología a emplear. Debido a que la medición de gases de combustión no es isocinética, US-EPA en su método 3A especifica tres metodologías de muestreo a elección:

- Punto único al azar
- Punto único y muestreo integrado
- Puntos múltiples y muestreo integrado

A continuación se mencionan los diferentes métodos que US-EPA propone para el muestreo de los diferentes gases.

### **2.2.1. Monóxido de Carbono (CO)**

Las técnicas para su determinación consisten en su captura y posterior análisis por diferentes técnicas de análisis. Para la determinación de CO en este estudio se utilizó el método US-EPA 10 [7] mediante análisis infrarrojo no dispersivo, utilizando el analizador de gases HORIBA con sistema de adquisición de datos, realizando un monitoreo continuo en condiciones normales de operación.

### **2.2.2. Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

Normalmente los óxidos de nitrógeno se denominan NO<sub>x</sub>, en tal nomenclatura se hace referencia a NO y al NO<sub>2</sub> indistintamente. Es importante destacar que los procesos de combustión generan en forma primaria Monóxido de Nitrógeno (NO), el cual en la atmósfera y en presencia de radiación solar y oxígeno reacciona para obtener NO<sub>2</sub> y ambos gases se encuentran en equilibrio. Para el caso particular de emisiones que abordamos, el gas que resulta en mayor proporción y por lo tanto el de mayor importancia es el NO. Para la determinación de NO<sub>x</sub> en este estudio se utilizó el método instrumental US-EPA 7E [8] por quimioluminiscencia utilizando el analizador de gases HORIBA con sistema de adquisición de datos, realizando un monitoreo continuo en condiciones normales de operación.

### **2.2.3. Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

El SO<sub>2</sub> es un compuesto que se emite en casi todas las reacciones de combustión, salvo para gas natural. Para la determinación de SO<sub>2</sub> en este estudio se utilizó el método instrumental US-EPA 6C [9] mediante análisis infrarrojo no dispersivo, utilizando el analizador de gases

HORIBA con sistema de adquisición de datos, realizando un monitoreo continuo en condiciones normales de operación.

### 3. RESULTADOS

En este punto se presentan los datos a partir de los cuales se realizará el análisis. Los datos presentados en las tablas corresponden a valores obtenidos de los monitoreos realizados a las diferentes calderas en condiciones normales de proceso.

#### 3.1. Calderas a gas natural

O <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	Temp.Chim.	Temp.Amb.	CO <sub>2</sub> [%]	SO <sub>2</sub> [ppm]	NO [ppm]	Mat Particulado mg/Nm <sup>3</sup>
6,1	37,6	196,6	22,7	8,4	0,0	101,2	0,5
10,8	125,1	214,5	29,7	5,8	0,0	49,0	1,7
5,9	102,5	238,8	30,7	8,5	0,0	62,5	2,1
15,5	23,9	180,0	31,1	3,1	0,0	24,8	0,9
7,4	14,5	193,0	33,0	7,7	0,0	47,3	2,2
10,6	107,5	212,0	30,7	5,9	0,0	35,1	0,9
9,2	37,3	163,0	26,5	6,4	0,0	77,3	1,4
13,1	0,5	165,3	36,8	4,5	0,0	3,8	113,5
3,8	3,0	180,7	23,0	7,3	0,0	111,8	1,0
9,9	0,9	188,7	21,0	5,7	0,0	34,8	5,6
8,1	7,2	162,6	14,6	6,9	0,0	68,8	0,3
14,5	0,2	103,1	10,0	2,8	0,0	8,3	0,2
6,5	17,3	191,8	21,0	8,2	0,0	87,3	0,3
Promedio							Promedio
9,3	36,7	183,9	25,4	6,2	0,0	54,8	2,8

Tabla 1

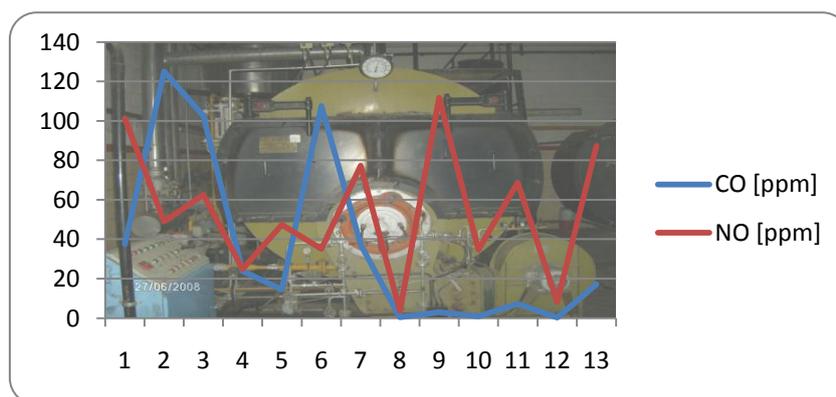


Figura 1: Gases de combustión para gas natural.

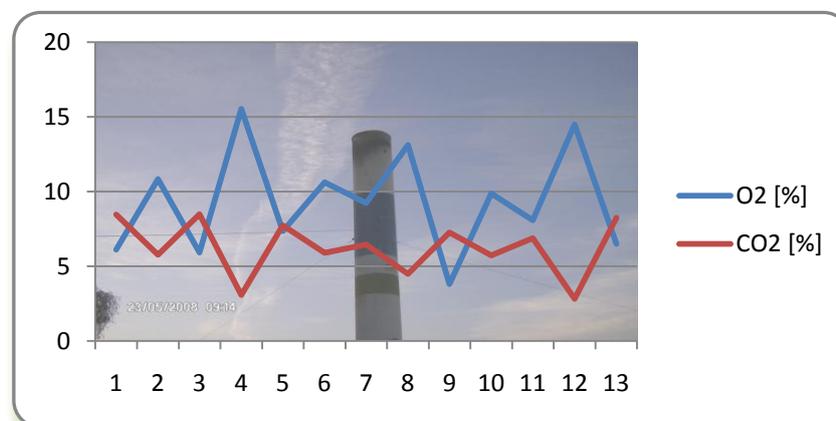


Figura 2: Gases de combustión para gas natural.

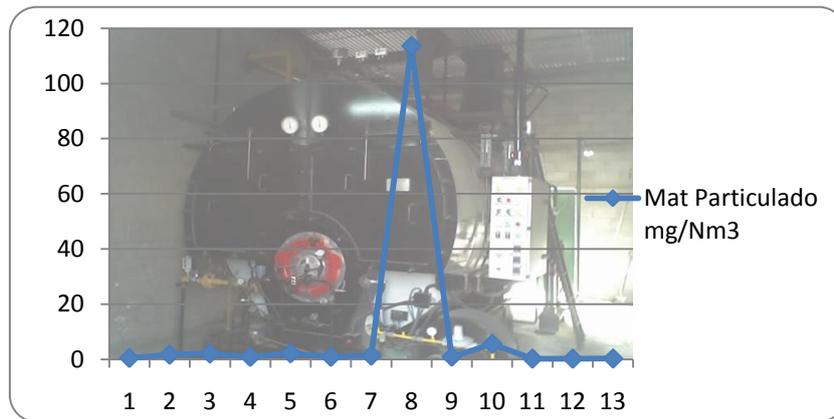


Figura 3: Material particulado para gas natural.

### 3.2. Calderas a leña

O2 [%]	CO [ppm]	Temp.Chim.	Temp.Amb.	CO2 [%]	SO2 [ppm]	NO [ppm]	Mat Particulado mg/Nm3
11,9	299,9	199,2	19,0	6,3	1,1	220,0	126,4
17,2	1869,7	200,0	15,0	3,5	7,0	76,3	753,0
11,3	300,4	217,8	20,6	4,8	24,8	28,9	1701,8
6,1	225,2	296,0	22,9	6,3	1,6	157,6	217,5
19,6	360,7	108,4	25,5	0,7	2,0	49,0	243,6
11,8	471,5	255,7	30,8	4,6	0,8	115,4	22,1
19,9	361,6	205,2	34,1	0,6	2,8	90,0	252,5
15,9	1051,1	251,6	25,0	4,3	1,7	78,9	27,9
16,0	2778,5	186,2	13,0	3,4	9,6	47,0	159,3
15,8	1194,9	235,9	20,8	5,1	7,6	72,8	652,5
18,8	2161,6	157,0	12,6	1,6	22,7	26,3	48,5
15,9	2041,5	234,1	7,0	4,8	15,8	68,8	65,1
Promedio							Promedio
15,0	1093,0	212,3	20,5	3,8	8,1	85,9	627,4

Tabla 2

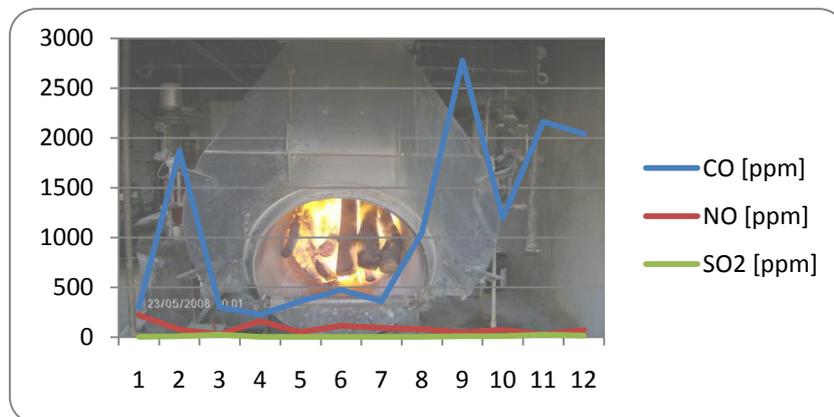


Figura 4: Gases de combustión para leña.

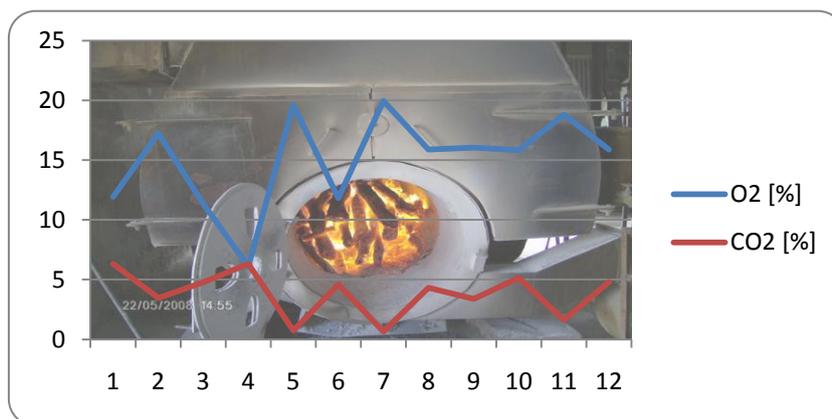


Figura 5: Gases de combustión para leña.

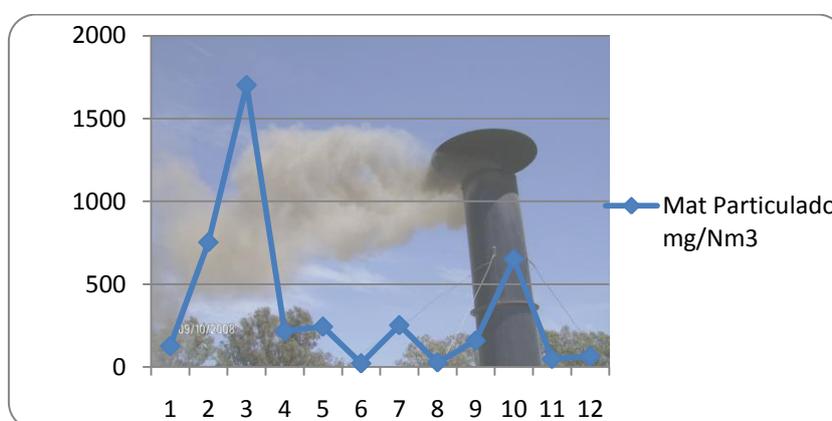


Figura 6: Material particulado para leña.

### 3.3. Calderas a fuel oil

O2 [%]	CO [ppm]	Temp.Chim.	Temp.Amb.	CO2 [%]	SO2 [ppm]	NO [ppm]	Mat Particulado mg/Nm3
5,4	236,8	250,0	25,0	6,3	19,8	159,9	243,6
9,9	6,8	168,2	16,0	7,7	137,6	153,8	80,5
6,7	69,1	153,9	8,0	9,9	25,9	167,0	220,9
8,5	90,5	211,4	22,6	10,3	154,4	226,9	11,0
8,8	61,1	166,7	13,3	6,9	88,3	271,5	1,7
12,4	65,1	151,9	29,0	6,4	75,2	116,5	122,4
9,1	78,7	205,9	16,8	8,8	26,7	141,9	131,6
6,0	46,2	231,7	34,0	10,9	44,0	225,9	27,5
8,6	90,5	215,1	23,0	9,1	25,1	180,6	29,1
6,9	2,8	257,9	12,0	10,5	30,6	227,5	23,9
Promedio							Promedio
8,2	84,5	201,3	20,0	8,7	116,8	187,1	89,2

Tabla 3

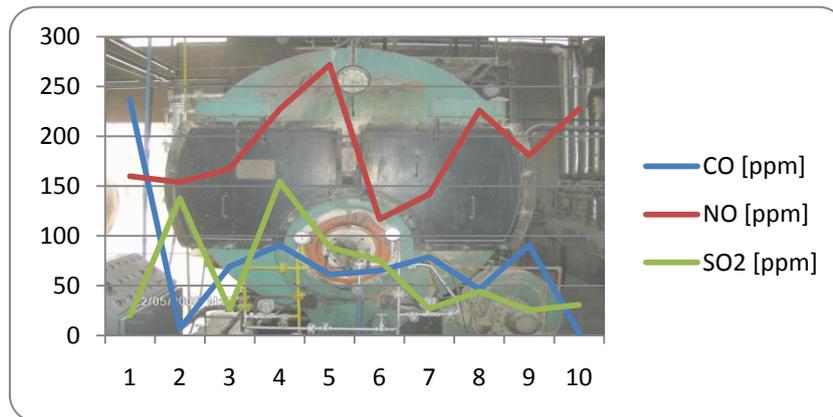


Figura 7: Gases de combustión para fuel oil.

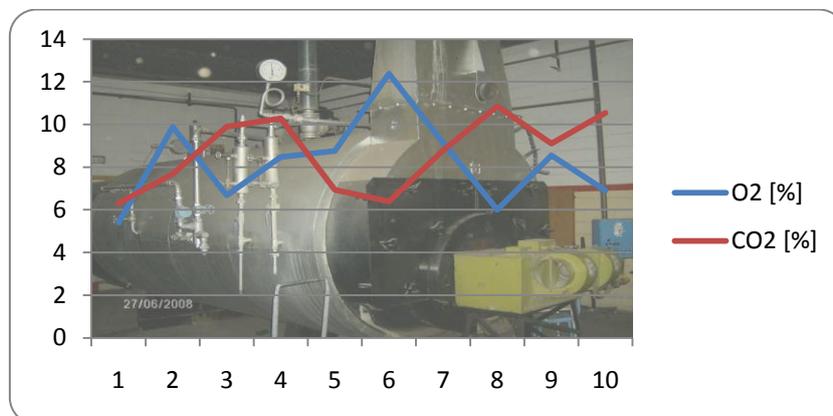


Figura 8: Gases de combustión para fuel oil.

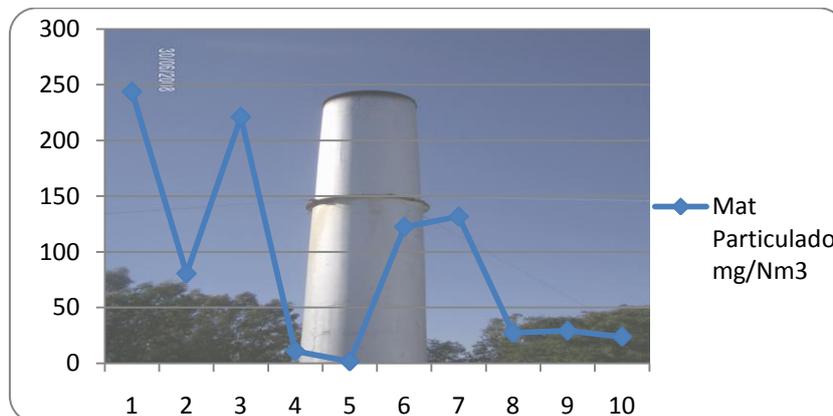


Figura 9: Material particulado para fuel oil.

Como se puede observar, la concentración de los gases está directamente relacionada con el tipo de combustible utilizado. Se presentan a continuación los valores promedio obtenidos en comparación con los límites legales para los compuestos de acuerdo al combustible utilizado.

	<b>Gas Natural</b>	<b>Res. 108/2001 Secretaria de Energía y Minería[12]</b>	<b>Ley 5965 Dec. 3395/96 de la Prov. de Bs. As. [11]</b>	<b>Ley 8167 de la Prov. de Córdoba [10]</b>
<b>CO</b>	36.7	N.E.	100	400
<b>NO<sub>x</sub></b>	54.8	400	450	150
<b>SO<sub>2</sub></b>	---	N.E.	500	4300
<b>MP</b>	2.8	6	250	N.E.

Tabla 4

Se observa en este caso, que el promedio obtenido de las mediciones de las calderas a gas, arroja para todos los parámetros valores inferiores a los estipulados por las leyes especificadas.

	<b>Leña</b>	<b>Res. 108/2001 Secretaria de energía y minería</b>	<b>Ley 5965 Dec. 3395/96 de la Prov. De Bs. As.</b>	<b>Ley 8167 de la Prov. De Córdoba</b>
<b>CO</b>	1093	N.E.	250	400
<b>NO<sub>x</sub></b>	85.9	900	450	150
<b>SO<sub>2</sub></b>	8.1	1700	500	2400
<b>MP</b>	627.4	120	250	N.E.

Tabla 5

Para el caso de las calderas a leña, tanto la concentración de CO como la de material particulado, superan los límites establecidos, y el resto de los parámetros se encuentran por debajo de dichos límites.

	<b>Fuel Oil</b>	<b>Res. 108/2001 Secretaria de energía y minería</b>	<b>Ley 5965 Dec. 3395/96 de la Prov. De Bs. As.</b>	<b>Ley 8167 de la Prov. De Córdoba</b>
<b>CO</b>	84.5	N.E.	175	400
<b>NO<sub>x</sub></b>	187.1	600	450	150
<b>SO<sub>2</sub></b>	116.8	1700	500	300
<b>MP</b>	89.2	140	250	N.E.

Tabla 6

En este caso, sólo la concentración de NO<sub>x</sub>, supera el valor límite estipulado por la Ley 8167 de la Prov. de Córdoba, mientras que el resto de los valores son inferiores a los límites legales.

#### 4. DISCUSIÓN

Para el SO<sub>2</sub>, se observa que el gas natural no genera emisiones de este gas en particular, por otro lado, tanto la leña como el fuel oil emiten SO<sub>2</sub> resultando mayor el valor para este último.

El CO es generado por la combustión de todos estos combustibles. El mayor valor de concentración corresponde al combustible sólido, seguido por el Fuel Oil y finalmente el Gas Natural. Esto es lógico debido a que el principal inconveniente de las calderas a leña reside en que la alimentación se realiza de manera intermitente abriendo la compuerta frontal. Lo que genera un aumento en el contenido de oxígeno y la pérdida de calor, con lo cual la eficiencia de estos equipos se ve reducida notoriamente. Del mismo modo, los NO<sub>x</sub> son generados por todos los combustibles, pero en este caso, es el Fuel Oil el que produce la mayor concentración de este gas en las emisiones a la atmósfera, seguido por el combustible sólido y finalmente el Gas Natural. Es importante destacar que el origen del Fuel Oil, la humedad y características del carbón, entre otras variables, influyen en la calidad del proceso de combustión, y por ende en los gases que se obtienen. Si bien el estudio de estos gases resulta importante en lo que respecta a la contaminación ambiental, consideramos que resulta más importante focalizar el estudio en el CO<sub>2</sub>, debido a que es éste gas el que tiene una mayor influencia en el efecto invernadero. Se puede observar entonces en los valores anteriormente expuestos, que las calderas a Fuel Oil son las que emiten la mayor concentración de dicho gas, lo cual presenta un inconveniente para su utilización, y resulta de suma importancia realizar monitoreos que permitan controlar las emisiones de este gas al ambiente.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Robert H. Perry, Don W. Green, Manual del Ingeniero Químico. - 7ma Edición - Mc Graw Hill.
- [2] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 1 “*Sample and velocity traverses for stationary sources*”
- [3] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 2 “*Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube)*”
- [4] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 3: “*Gas Analysis for the Determination of molecular weight*”
- [5] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 4: “*Determination of moisture content in stack gases*”.
- [6] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 5: “*Determination of Particulate Matter Emissions for Stationary Sources*”
- [7] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 10: “*Determination of Carbon Monoxide from Stationary Sources (Instrumental Analyzer Procedure)*”
- [8] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. [7E]: “*Determination of Nitrogen Oxides emissions from Stationary Sources (Instrumental Analyzer Procedure)*”
- [9] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. [6C]: “*Determination of Sulfur Dioxide emissions from Stationary Sources (Instrumental Analyzer Procedure)*”.
- [10] Ley Prov. de Córdoba N° 8167 de “Preservación del estado normal del aire en todo el ámbito de la Provincia de Córdoba”.
- [11] Ley Prov. de Buenos Aires N° 5965 (Dec. 3395/96) - Anexo IV: “Niveles guía de

emisión para contaminantes habituales presentes en efluentes gaseosos para nuevas fuentes industriales”.

[12] Resolución N° 108/2001 - Secretaría De Energía Y Minería.

## EMISIONES DE PCDD/PCDF DEBIDO A LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PATÓGENOS EN ARGENTINA.

**Pepino Minetti, Roberto C.\*; Fonseca, José M.; Vidal, Carlos D.; Allende García, María C. y Macaño, Héctor R.**

SIQA (Serv. de Ingeniería Química y Ambiental)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro Marcelo López esq. Av. Cruz Roja Argentina  
Ciudad Universitaria - (X5016ZAA) Córdoba – ARGENTINA  
e-mail: rpm@quimica.frc.utn.edu.ar, web: www.siqua.com.ar

**Palabras clave:** PCDD/PCDF, incineración, residuos patógenos, Reunión PROIMCA.

**Resumen** *Para la realización del presente trabajo fueron consideradas un total de 11 mediciones de emisión de policlorodibenzodioxinas (PCDDs) y policlorodibenzofuranos (PCDFs) en gases de combustión realizadas en hornos pirolíticos de diferentes capacidades ubicados en la Provincia de Córdoba, Argentina. Este tipo de mediciones son poco frecuentes en nuestro país debido al alto costo del equipo utilizado para el análisis de las muestras. Los muestreos fueron realizados por integrantes de SIQA, se llevaron a cabo entre los años 2006 a 2009 empleando muestreadores isocinéticos de acuerdo al Método 23 (40 CFR Part 60) de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (US-EPA por sus siglas en inglés) y los análisis fueron realizados empleando un cromatógrafo gaseoso de alta resolución acoplado a un detector de masas de alta resolución (HRGC/HRMS) perteneciente a un Laboratorio de EE.UU acreditado en concordancia al Programa Nacional de Acreditación de Laboratorios Ambientales (NELAP por sus siglas en inglés) respaldado por la US-EPA. Todos los ensayos se realizaron en condiciones normales de operación y en una ocasión se tuvo la oportunidad de monitorear durante la etapa de combustión y poscombustión de manera separada, en el resto de los ensayos se monitoreó durante la etapa de combustión.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los residuos patógenos son aquellos generados debido a las prestaciones médicas que se desarrollan en clínicas y hospitales, tanto públicos como privados. La gestión de los mismos está reglamentada en nuestro país por la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051 a través de su Decreto Reglamentario 831/93. Los residuos patógenos generados en la provincia de Córdoba, en la mayoría de sus ciudades principales, fueron tratados por incineración hasta finales del año 2008. La aplicación de otras metodologías, como ser tratamiento por autoclaves, solamente era aplicada por algunas ciudades, es decir, que la mayor cantidad de este tipo de residuos eran tratados por incineración debido a que se consideró a este proceso como el más seguro para la inertización y destrucción de los residuos tratados. A partir del año 2009, debido a un cambio de responsabilidad social y a un mayor control institucional de

las autoridades de aplicación sobre las emisiones gaseosas producidas en los centros de incineración, se produjo una migración de la incineración hacia otras tecnologías de tratamiento. Los factores que más peso tuvieron en la toma de decisión por parte de los propietarios de estos centros fueron, por un lado, el costo de los monitoreos de PCDDs y PCDFs que existen en nuestro país debido a la inexistencia de un laboratorio de análisis que permite la disminución del costo de los mismos. El segundo factor es el desconocimiento por parte de la sociedad en su conjunto de la existencia de sistemas de tratamiento específicos para la remoción de PCDDs/PCDFs en gases de chimenea.

Los hornos de incineración ensayados utilizan el principio de funcionamiento de combustión pirolítica trabajando en dos etapas. En la primera de ellas se alcanzan temperaturas entre 800°C y 900°C y en la segunda (poscombustión) se alcanzan temperaturas entre 900°C y 1200°C. En la cámara de poscombustión el tiempo de residencia de los gases debe ser mayor a 2 segundos debido que así lo define el Dec. Reg. 831/83. La carga de los residuos puede ser manual o automática. Debido que este tipo de residuos contienen compuestos orgánicos, compuestos con alto contenido de cloro y algunos metales pesados, la formación de PCDDs/PCDFs durante o después del proceso de incineración es factible.

La estructura química de estos compuestos se basa en dos anillos aromáticos unidos entre sí por un anillo oxigenado en el caso de las PCDDs y por doblemente oxigenado en el caso de los PCDFs. Los anillos aromáticos pueden variar en el contenido de átomos de cloro dando por resultado la existencia de cientos de isómeros de PCDDs/PCDFs; sin embargo, solamente algunos de ellos son considerados con características de toxicidad, la cual se expresa de acuerdo a “factores de equivalencia tóxica”. La Organización Mundial de la Salud, a través del Programa Internacional sobre Seguridad Química (IPSC) consensuó estos factores de equivalencia tomando como base a la especie más tóxica, la 2,3,7,8-tetracloro-p-dibenzodioxina (TCDD), a la cual se le asignó el valor de 1. A otras 16 especies de PCDDs/PCDFs se le han asignado factores que van desde 0,0001 a 0,5 [1].

Inicialmente en 1985 la US-EPA había clasificado a TCDD como “probable carcinógeno para humanos”, sin embargo, esta clasificación fue modificada debido a un nuevo estudio realizado en 2003 [2, 3, 4] en donde se señaló a la TCDD como “carcinógeno para humanos”. Mientras tanto, la Agencia Internacional para Investigación sobre Cáncer (IARC) dependiente de la Organización Mundial de la Salud, ya en 1997 había clasificado a la TCDD como “carcinógeno clase 1”, es decir, carcinógeno para humanos [5].

## **2. ETAPA EXPERIMENTAL**

### **2.1. Muestreo**

El muestreo fue realizado aplicando el método 23 [6] perteneciente al compendio 40 CFR Part 60 publicado por la US-EPA. Este método exige la utilización de un equipo de muestreo Isocinético (Figura 1) compuesto por una sonda de muestreo calefaccionada a 120 °C, una caja caliente igualmente calefaccionada, una caja fría en donde se produce la condensación de la humedad del gas (y en este caso en particular se coloca el cartucho absorbente), la consola de muestreo y medición y el umbilical (encargado de conectar el equipo de muestreo con la consola).

Resumiendo el procedimiento de muestreo podemos decir que una vez montado el equipo en la chimenea a muestrear, el gas de chimenea es conducido a través de la sonda de muestreo que posee una boquilla tipo cuello de cisne en el extremo quien condiciona el caudal de

muestreo para que le mismo sea isocinético. La sonda consta de un tubo exterior de metal con un tubo interno de vidrio calefaccionado hacia la caja caliente en donde se realiza la retención del material particulado mediante un filtro de fibra de vidrio calefaccionado a 120 °C. Posteriormente el gas abandona la caja caliente y atraviesa un cartucho de vidrio de doble pared relleno en su interior con resina XAD-2 la cual se encuentra refrigerada con agua fría que circula a través de la camisa de enfriamiento del cartucho. Luego el gas es obligado a circular por una serie de impingers en donde se termina de retener la humedad que contiene el gas y se produce el enfriamiento de dicho gas el cual podría afectar la bomba de vacío ubicada en la consola de muestreo y medición. Las muestras a analizar constan del filtro que retuvo la fracción sólida que contiene PCDDs/PCDFs y el cartucho relleno de XAD-2 en donde se retiene la fracción gaseosa del compuesto de interés, además se analiza el solvente (grado pesticida) utilizado para el enjuague de todas las partes anteriores al cartucho que entran en contacto con el gas muestreado.

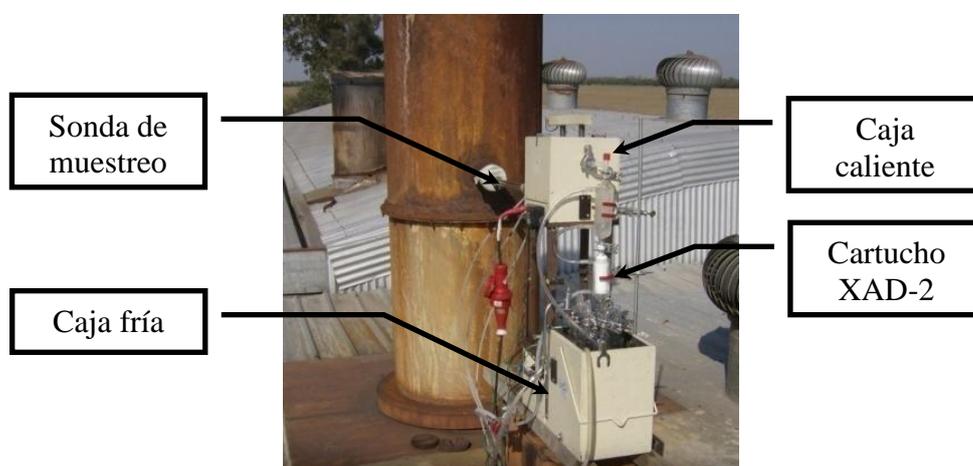


Figura 1: Equipo de muestreo isocinético

La sonda de muestreo utilizada depende de la temperatura de la chimenea, esto se debe a que en aquellos hornos que no poseen sistema de tratamiento y quencher, la temperatura de los gases varía entre 900 a 1000 °C (Figura 2) lo que exige que la sonda de muestreo sea de Inconel.



Figura 2: Vista interior de la chimenea de un horno sin tratamiento de gases.

Tanto la normativa local como internacional establecen los límites de emisión de PCDDs y

PCDFs referenciados a diferentes condiciones, como por ejemplo: % CO<sub>2</sub>, % O<sub>2</sub> y base seca. Por lo tanto fue necesario además cuantificar el contenido de dichos gases y de humedad, para ello se aplicaron los métodos 3A [7] y 4 [8] perteneciente al compendio 40 CFR Part 60 publicado por la US-EPA. Para poder llevar a cabo el método 3A fue necesario utilizar un analizador de gases de combustión equipado con celda de zirconio para la detección de oxígeno y NDIR para dióxido de carbono. Este equipo posee además salida de datos tipo RS232, por lo tanto se desarrolló un software propio para la adquisición continua de los datos.



Figura 3: Analizador continuo de gases de combustión

Las muestras se tomaron en 6 incineradores ubicados en la provincia de Córdoba, todos ellos en las afueras de zonas urbanas, alejados como máximo a 6 km del límite del asentamiento urbano más cercano.

Se monitorearon hornos pirolíticos de diferentes tipos, como por ejemplo: de cámara primaria vertical, de cámara primaria horizontal, con alimentación manual, con alimentación automática. Dos de los hornos poseían sistema de tratamiento de gases compuestos por una etapa de enfriamiento rápido de los gases (utilizando un quencher) y posteriormente los gases eran obligados a pasar por una torre de lavado o scrubber alimentado con solución alcalina con la finalidad de eliminar gases ácidos de la corriente gaseosa, en especial HCl. Luego de la torre lavadora los gases eran emitidos a la atmósfera.

De acuerdo con la norma 40 CFR Part 62 [9] de la US-EPA, los hornos se clasifican de acuerdo a su capacidad de procesamiento en:

- “Large HMIWI”, es decir, Horno Incinerador de Residuos Hospitalarios/de Medicina/Infecciosos de Media Capacidad (>226,8Tn/hr).
- “Medium HMIWI”, es decir, Horno Incinerador de Residuos Hospitalarios/de Medicina/Infecciosos de Media Capacidad (90,7 a 226,8 Tn/hr)
- “Small HMIWI”, es decir, Horno Incinerador de Residuos Hospitalarios/de Medicina/Infecciosos de Pequeña Capacidad (<90,7 Tn/hr)
- “Small rural HMIWI”, es decir, Horno Incinerador de Residuos Hospitalarios/de Medicina/Infecciosos de Pequeña Capacidad que incinera menos de 0,907 Tn/semana y que estén ubicados en una zona rural alejada a más de 80,47 km en línea recta al límite de la urbanización más cercana.

Como puede observarse en el ítem anterior, además de la capacidad de los hornos de incineración, se considera para su clasificación la distancia a la urbanización más cercana. Los hornos considerados para el presente trabajo fueron: 1 del tipo Small HMIWI, 3 Medium

HMIWI y 2 Large HMIWI.

## 2.2. Análisis y Reporte de resultados

El método de análisis utilizado es el descrito en el método 23 de US-EPA. Tanto los filtros como los cartuchos XAD-2 fueron provistos por el mismo laboratorio de EE.UU que realizó los análisis, quien los sometió a un procedimiento de limpieza con diclorometano grado pesticida antes de empacarlos y enviarlos. En el caso de los cartuchos de XAD-2, dicho laboratorio le inyectó estándares internos con marcación isotópica para poder luego poder estimar la eficiencia de recuperación en la extracción final de las muestras, la cual en todos los casos se mantuvo dentro del 80 a 110 %. En todos los monitoreos se utiliza un blanco de campo contemplado dentro del programa de aseguramiento de la calidad del proceso. Conjuntamente al filtro y al XAD-2 se analizó el solvente grado pesticida utilizado en campo para la limpieza de los equipos.

Los análisis se realizaron utilizando un cromatógrafo gaseoso de alta resolución acoplado a un detector de masas de alta resolución (HRGC/HRMS) permitiendo la identificación del tipo de dioxina o furano presente en la muestra logrando niveles de detección del orden de los picogramos. La cuantificación se realizó por comparación entre las respuestas de los patrones internos y el de los isómeros nativos detectados. Los reportes incluyen las concentraciones de cada uno de los isómeros nativos detectados, el porcentaje de recuperación de cada estándar interno y la concentración total equivalente a TCDD.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la realización del presente trabajo fueron consideradas un total de 11 mediciones de emisión, una realizada en Small HMIWI, 7 en Medium HMIWI y 3 en Large HMIWI. Desde el punto de vista legal, la Ley 24.051 (Dec. Reg. 831/93) señala como límite de emisión 0,1 ng/Nm<sup>3</sup> de gas seco corregido al 10 % de CO<sub>2</sub> [10]. Este valor coincide con el adoptado por los países Europeos, sin embargo es más estricto que los 2,3 ng/dscm (al 7 % de O<sub>2</sub>) adoptado por la US-EPA a través de norma 40 CFR Part 62. A continuación presentamos los valores promedios obtenidos para cada tipo de horno de incineración:

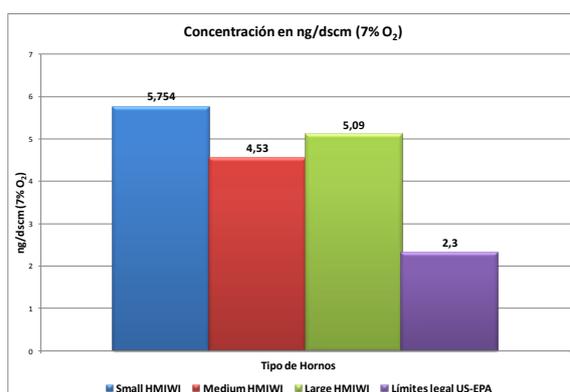


Figura 3: Conc. promedio en ng/dscm (7% O<sub>2</sub>)<sup>i</sup>

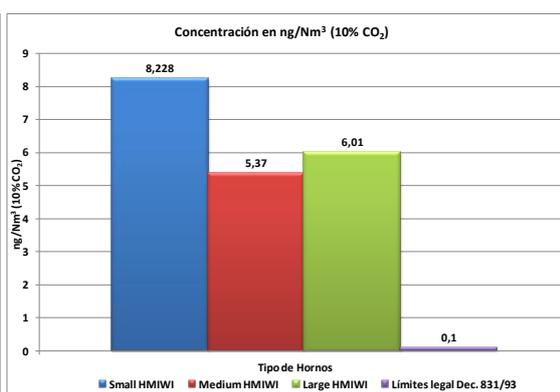


Figura 4: Conc. promedio en ng/Nm<sup>3</sup> (10 % CO<sub>2</sub>)<sup>ii</sup>

En el caso de los Medium HMIWI se notó una marcada dispersión en los resultados,

<sup>i</sup> nanogramos por metro cúbico estándar y seco corregido al 7 % de oxígeno de referencia

<sup>ii</sup> nanogramos por metro cúbico normal seco corregido al 10 % de dióxido de carbono como referencia

obteniendo valores cercanos ( $0,18 \text{ ng/Nm}^3$ ) al límite legal argentino como también valores tan altos como  $15,66 \text{ ng/Nm}^3$ . Ninguno de los hornos muestreados poseen sistema de tratamiento de gases lo cual hace suponer que en aquellos hornos que presentaron las concentraciones más bajas se podría lograr emisiones inferiores a los valores legales de nuestro país, siendo dichos valores de por sí inferiores a los estándares de emisión de EE.UU.

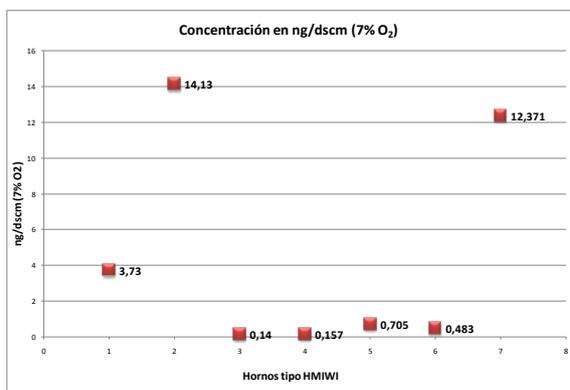


Figura 5: Conc. en ng/dscm en Medium HMIWI

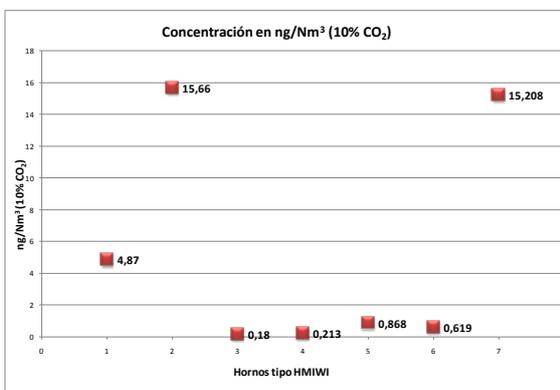


Figura 6: Conc. en ng/Nm<sup>3</sup> en Medium HMIWI

Otro efecto que se observó durante los monitoreos es la falta de control del suministro de oxígeno a dichos hornos, lo cual impacta directamente de dos maneras, la primera es en la eficiencia de combustión y la segunda se da debido a la corrección de la concentración obtenida a ciertos gases de referencia (oxígeno o dióxido de carbono) que exigen las diversas legislaciones. Más aún, la tendencia a pensar por parte de los operadores de dichos hornos a que una elevada concentración de exceso de oxígeno durante el proceso de combustión asegura la oxidación completa de la materia orgánica es un factor que impacta negativamente en los valores de concentración de PCDDs/PCDFs que se han obtenido debido a la mencionada corrección.

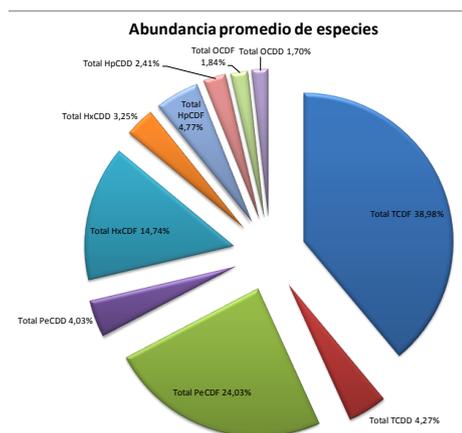


Figura 7: Abundancia promedio de especies.

Acrónimo	Especies totales
Total TCDF	Tetraclorodibenzofuranos
Total TCDD	Tetraclorodibenzodioxinas
Total PeCDF	Pentaclorodibenzofuranos
Total PeCDD	Pentaclorodibenzodioxinas
Total HxCDF	Hexaclorodibenzofuranos
Total HxCDD	Hexaclorodibenzodioxinas
Total HpCDF	Heptaclorodibenzofuranos
Total HpCDD	Heptaclorodibenzodioxinas
Total OCDF	Octaclorodibenzofuranos
Total OCDD	Octaclorodibenzodioxinas

Tabla 1: Especies PCDDs/PCDFs.

Como se puede observar en la Figura 7, los resultados del presente estudio muestran que las mayores emisiones se deben a compuestos de la familia de los PCDFs, representando el 84,35% del total, siendo las especies tetra, penta y hexacloradas las de mayor importancia. En el caso de la TCDD, especie de mayor toxicidad asociada, representa solamente el 4,27% del

total.

A finales del año 2008, se tuvo la oportunidad de realizar un monitoreo durante las dos etapas del proceso de incineración (combustión y poscombustión) de un Large HMIWI con sistema de lavado de gases, en donde se observó claramente una diferencia en el tipo de emisión tal como se puede apreciar en las figuras a continuación:



Figura 8: Blanco de campo

Figura 9: En combustión

Figura 10: En poscombustión

Esta diferencia visual se vio reflejada en los resultados obtenidos presentados en la Figura 11, de la cual se desprende que las mayores emisiones se dan durante la etapa de combustión.

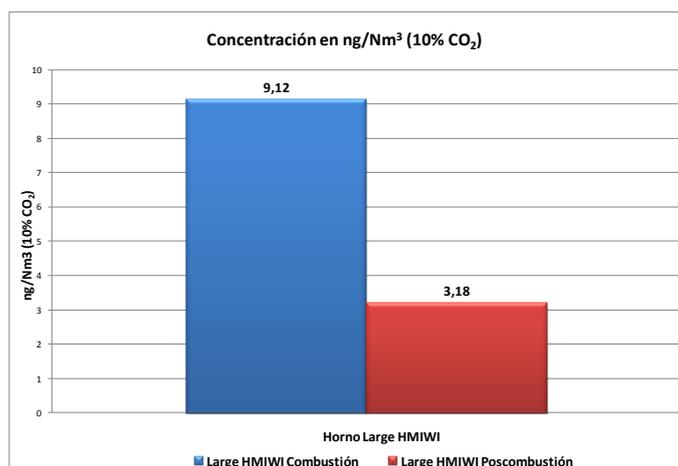


Figura 11: Concentración durante combustión y poscomb. Large HMIWI

La abundancia relativa de las especies también cambia de acuerdo a la etapa del proceso, marcándose la diferencia en los PCDFs tetra y hexaclorados principalmente.

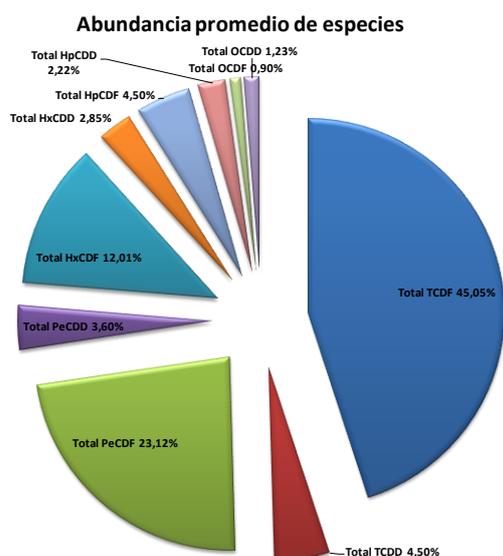


Figura 12: Etapa de combustión

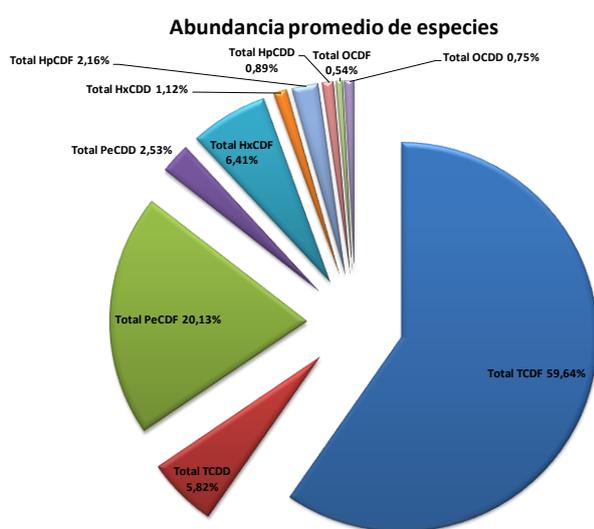


Figura 13: Etapa de combustión

La legislación argentina no obliga que los sistemas de incineración posean sistemas de tratamiento de gases luego del incinerador, no así en Europa y Estados Unidos.

Durante mucho tiempo, se permitió la existencia de incineradores de residuos patógenos en la provincia de Córdoba sin control ambiental de las emisiones de PCDDs/PCDFs. A partir de la política de implementar la obligación del monitoreo de dioxinas y furanos, acompañado de una reducción en su costo, se contó con información científica experimental que indujeron un cambio en las inversiones industriales, promoviendo que la empresa privada instale métodos alternativos de inertización. Hasta el momento, no se han implementado esquemas de control de la efectiva esterilización de estos residuos con estos métodos alternativos. Por falta de conocimiento, las empresas no exploraron otras alternativas, como los detallados, que hubieran transformado en ambientalmente viables los incineradores de residuos patógenos.

## 5. REFERENCIAS

- [1] IPCS (International Programme on Chemical Safety). *Announcement of Project for the Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors (TEFs) of Dioxins and Dioxin-like Compounds and Request for Information*, World Health Organization. (2004).
- [2] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) - *Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds. Part I: Estimating Exposure to Dioxin-Like Compounds*. EPA/600/P-00/001Cb. NAS Review Draft. Exposure Assessment and Risk Characterization Group, National Center for Environmental Assessment-Washington Office, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (2003)
- [3] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) - *Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds. Part II: Health Assessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds*. NAS Review Draft. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (2003)
- [4] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) - *Exposure and Human Health*

- Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds. Part III: Integrated Summary and Risk Characterization for 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds.* NAS Review Draft. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (2003).
- [5] IARC (International Agency for Research on Cancer). *Polychlorinated Dibenzoparadioxins and Polychlorinated Dibenzofurans.* IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Vol. 69. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. (1997).
- [6] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 23: “*Determination of Polychlorinated Dibenzop-dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans from Municipal Waste Combustors*”.
- [7] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 3A: “*Determination of Oxygen and Carbon Dioxide Concentrations in Emissions from Stationary Sources*”.
- [8] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR, Pt. 60, App. A, Meth. 4: “*Determination of moisture content in stack gases*”.
- [9] US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) – 40 CFR Part 62 “*Federal Plan Requirements for Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators (HMIWI)*”.
- [10] Ley Nacional N° 24.051 – Decreto Reglamentario N° 831/93 “Residuos Peligrosos”.



## DINÁMICA DE MATERIAL PARTICULADO GRUESO

Cionco, Rodolfo G.; Quaranta, Nancy E. \* y Caligaris, Marta G.

Grupo de Estudios Ambientales  
Facultad Regional San Nicolás  
Universidad Tecnológica Nacional  
Colón 332 (2900), San Nicolás, Buenos Aires  
e-mail: gcionco@frsn.utn.edu.ar, nquaranta@frsn.utn.edu.ar, mcaligaris@frsn.utn.edu.ar  
\* Investigador CIC

**Palabras clave:** partículas gruesas, material particulado, modelos y simulaciones, contaminación atmosférica.

**Resumen.** *Una fracción importante del material particulado liberado a la atmósfera en procesos industriales o naturales corresponde a partículas cuyos diámetros aerodinámicos son mayores que 50  $\mu\text{m}$ . Se ha mostrado para estas partículas que la clásica descripción de los procesos de difusión, tipo pluma gaussiana, es inadecuada para describir su transporte y deposición. En este trabajo se presentan nuevos resultados referentes a la dispersión de material particulado grueso. Las simulaciones se realizan con un código propio que utiliza el integrador numérico de Bulirsch y Stoer para calcular trayectorias tridimensionales de partículas liberadas al ambiente bajo condiciones muy generales. Los procesos turbulentos se simulan mediante la ecuación de Langevin y las condiciones meteorológicas se modelan según circunstancias de estabilidad (longitud de Monin-Obukhov  $L > 0$ ) e inestabilidad ( $L < 0$ ). Se presentan diversos casos estudiados en base a simulaciones tipo Monte Carlo y se discute el efecto de las condiciones meteorológicas sobre la deposición final de estas partículas.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El estudio del material particulado atmosférico (PM), es uno de los temas de mayor actualidad e importancia de las ciencias medioambientales, particularmente en el estudio de subproductos industriales [1] y emisiones volcánicas [2]. PM es el nombre genérico que designa a partículas de tamaños variables (desde nanométricas hasta aproximadamente cien micrones de diámetro) y diferente composición, que se liberan a la atmósfera mediante diversos procesos. De estas partículas, aquellas cuyos diámetros *aerodinámicos* son menores que 10  $\mu\text{m}$  (i.e., con velocidades de sedimentación iguales a las de una esfera de 10  $\mu\text{m}$  de diámetro y 1  $\text{g cm}^{-3}$  de densidad) son las más nocivas para la salud, ya que permanecen más tiempo en suspensión y pueden llegar con facilidad hasta los alvéolos pulmonares [3]; por lo tanto, se han puesto los mayores esfuerzos en el modelado del transporte de esta clase de PM [4]. Sin embargo, las partículas con diámetros aerodinámicos  $> 10 \mu\text{m}$ , o *material particulado grueso* (PMc), también forma parte de los procesos generales de contaminación provocando, por ejemplo, trastornos del tracto respiratorio superior [5, 6]. En suma, el estudio de la dispersión y deposición de PMc es imprescindible para una descripción teórica completa del flujo de partículas contaminantes en un determinado sitio. Vesovic et ál. [7], han puntualizado la necesidad de mejorar la comprensión y la cuantificación del transporte y deposición de este tipo de material. Estos autores estudian PMc de diámetros entre 75 – 106,7  $\mu\text{m}$ , comparando las concentraciones predichas por un clásico modelo de pluma gaussiana (Fugitive Dust

Model), con un modelo desarrollado por ellos para resolver las ecuaciones de movimiento de las partículas liberadas en la atmósfera bajo condiciones de estabilidad neutral. Este modelo computacional está basado en un método de diferencias finitas con paso ajustable. El resultado de [7] es concluyente: el modelo gaussiano introduce sobreestimación en el pico de concentración y subestimación de la concentración de contaminantes corriente abajo, en forma estadísticamente significativa. En efecto, el PMc (que también podría denominarse PM *pesado*), está dominado por la gravitación y la interacción con la atmósfera mediante un arrastre de Stokes a bajos números de Reynolds [8], por lo tanto, no puede ser tratado como un fluido. Además Vesovic et ál., puntualizan que su código de dispersión es bidimensional debido al costo computacional que les supone evaluar las trayectorias en una tercera dimensión. Si bien la justificación para usar un código 2D es razonable debido a que las partículas básicamente van a seguir la dirección de la corriente principal del viento, la aproximación no es válida en situaciones donde los ejes del sistema de referencia utilizado no coincidan con la dirección del viento, ésta presente rotaciones o la intensidad de la turbulencia (siempre presente en todas direcciones) produzca sensibles apartamientos de las partículas respecto a la corriente principal. Más recientemente en [9], se ha revisado el tema confirmando los resultados de [7], concentrándose en “puffs” de baja altura (algunos metros), considerando condiciones meteorológicas más generales, remarcando la necesidad de profundizar el conocimiento de la dinámica atmosférica del PMc. En el Grupo de Estudios Ambientales de la Facultad Regional San Nicolás se viene trabajando en problemas de dispersión de este tipo de partículas, particularmente en el desarrollado de programas para el cálculo preciso y rápido de trayectorias tridimensionales de PMc que superen todas las limitaciones más arriba especificadas. Las primeras aplicaciones (sólo válidas para condiciones de estratificación neutral) y la validación de las rutinas fundamentales del programa que aquí se presenta se han reportado en [10]. En las páginas siguientes se describen las principales características del modelo implementado y el código de dispersión de PMc desarrollado, se presentan ejemplos concretos de aplicación con gran número de partículas liberadas a 25 m de altura en condiciones atmosféricas estables e inestables.

## 2. EL MODELO

Para determinar las trayectorias del PMc liberado en condiciones atmosféricas generales, deben integrarse sus ecuaciones de movimiento bajo la acción de la gravedad terrestre y la interacción con la atmósfera. Sea  $\vec{r} = \vec{r}(t) = (x, y, z)$ , la posición de una partícula en un sistema de referencia fijo en Tierra; salvo indicación en contrario se dirigirá el eje  $X$  según la dirección horizontal coincidente con la corriente principal del viento; el eje  $Z$  coincidente con la vertical del lugar y el eje  $Y$  completando la terna directa;  $\vec{v} = \dot{\vec{r}}(t)$  es la velocidad de la partícula;  $\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$  es la velocidad del viento. Considerando las fuerzas actuantes (gravitación, flotación y arrastre de Stokes), la aplicación de la segunda ley de Newton provee

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\left(1 - \frac{\rho_l}{\rho_p}\right)\vec{g} + \frac{f}{\tau}(\vec{u} - \vec{v}), \quad (1)$$

donde  $\rho_l$  es la densidad del fluido;  $\rho_p$  es la densidad de la partícula;  $\vec{g}$  es la aceleración de la gravedad; además

$$f = 1 + 0,15 Re^{0,687} \quad (2)$$

es una función del número de Reynolds ( $Re$ ) y proviene del régimen de Stokes para  $Re$  bajos ( $< 200$ ) que son los de interés para este trabajo [8, 11];  $\tau$  es el tiempo de relajación para una partícula en un régimen perfectamente laminar, definido como

$$\tau = \frac{m_p}{3\pi\mu D_p}, \quad (3)$$

donde  $m_p$  es la masa de la partícula,  $D_p$  es su diámetro y  $\mu$  la viscosidad dinámica del fluido;  $\tau$  es el tiempo que tarda la partícula en perder su memoria dinámica y responder ante cambios de velocidad en el fluido ideal.

Para caracterizar la velocidad del viento en la capa superficial y los perfiles de difusión turbulenta, se utilizó la teoría de semejanza desarrollada por Monin y Obukhov y la descripción lagrangiana correspondiente [8,12]. Las propiedades de esos flujos son expresadas como funciones de la velocidad de fricción y de la longitud de Obukhov  $L$ .

Para el caso de estabilidad neutral ( $z/L = 0$ ) el viento se modela, como es usual, considerando un viento medio

$$\vec{u}_m = \frac{\vec{u}_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (4)$$

donde  $\vec{u}_*$  es la velocidad de fricción o cizalla (con componentes  $X$  e  $Y$ ),  $\kappa$  es la constante de von Kármán (usualmente 0,35 - 0,40) y  $z_0$  la altura de la capa límite (definida a partir de las irregularidades del terreno). Para el caso general de estabilidad ( $z/L > 0$ )

$$\vec{u}_m = \frac{\vec{u}_*}{\kappa} \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + 4,7\left(\frac{z}{L}\right) \right]. \quad (5)$$

Para el caso de estratificación inestable ( $z/L < 0$ )

$$\vec{u}_m = \frac{\vec{u}_*}{\kappa} \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - 2\ln\left(\frac{1+x}{2}\right) - \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) + 2\tan^{-1}x - \frac{\pi}{2} \right], \quad (6)$$

con  $x = (1 - 5z/L)^{0,25}$ . Las expresiones (5) y (6) convergen a (4) cuando  $z/L \rightarrow 0$  (computacionalmente la condición neutral se alcanza cuando  $z/L$  se hace menor que un valor adoptado a priori). Teniendo en cuenta una perspectiva lagrangiana, se han incluido fluctuaciones turbulentas a la velocidad ( $\vec{u}_t$ ), representadas en sus tres componentes, como soluciones de la ecuación de Langevin [8, 12]

$$\vec{u}_t(t) = \vec{u}_t(t-dt) \exp\left(-\frac{dt}{\tau_L}\right) + \vec{\sigma} \text{rnd} \left(1 - \exp\left(-\frac{2dt}{\tau_L}\right)\right)^{1/2} \quad (7)$$

donde,  $dt$  es el lapso de tiempo en el cual se evalúa la turbulencia;  $\text{rnd}$  es un número aleatorio que se genera con distribución gaussiana en  $(-1,1)$ ;  $\tau_L$  es la escala de tiempo lagrangiana definida como

$$\tau_L = \frac{0,4 z}{|\bar{u}_*|} \left(1 + \frac{5z}{L}\right)^{-1} \quad (\text{caso estable}) \quad (8)$$

$$\tau_L = \frac{0,4 z}{|\bar{u}_*|} \left(1 - 6 \frac{z}{L}\right)^{1/4} \quad (\text{caso inestable}); \quad (9)$$

$\bar{\sigma}$  es la dispersión de velocidades, definida a partir de un factor de la velocidad de fricción para casos estables y neutral

$$\bar{\sigma} = (2,4|\bar{u}_*|, 2,4|\bar{u}_*|, 1,25|\bar{u}_*|). \quad (10)$$

Para casos inestables, la dispersión de velocidades se define por

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 = \sigma_y^2 = |\bar{u}_*| \left(2,26 - 6,6 \frac{z}{L}\right)^{0,67}. \quad (11)$$

### 3. EL CÓDIGO

La Ec. (1) se integra mediante el método de Bulirsch y Stoer [13]. Para ello se realizó un programa ForTran que utiliza la rutina BSSTEP de Numerical Recipes [14]. El método usa extrapolación de Richardson para aproximar la función a integrar mediante una subdivisión automática y arbitrariamente pequeña del paso de integración máximo inicial ( $h_1$ ), de tal forma que se satisfaga una tolerancia prefijada. Este proceso garantiza gran precisión con un costo computacional mínimo. El programa comienza leyendo un archivo de condiciones iniciales con posición y velocidad para una partícula, el usuario introduce un número semilla para la generación de la secuencia de pseudoaleatorios usados en la Ec. (7), los cuales se obtienen mediante un procedimiento de L'Ecuyer [14]. La Ec. (1) se descompone en un sistema de seis ecuaciones acopladas; en cada paso de integración se calculan las componentes deterministas de las fuerzas intervinientes y las estocásticas (turbulencia) evaluándose, simultáneamente, las condiciones aerodinámicas y meteorológicas respectivas. Las salidas dan posición y velocidad de las partículas cada cierto intervalo de tiempo fijado por el usuario, el tiempo físico de vuelo y las coordenadas y velocidades en el punto de impacto. Una vez que la partícula llega hasta la altura mínima de integración (ZMIN, generalmente =  $z_0$ ) se imprimen las salidas y el programa reinicia, a partir de las mismas condiciones iniciales, generando para una partícula idéntica un ambiente turbulento distinto. De esta forma el código funciona mediante un procedimiento Monte Carlo que permite seguir un número arbitrario de partículas hasta su deposición final. El tiempo físico medio de vuelo (TVM) es un parámetro importante que el usuario debe evaluar, ya que evita la integración de trayectorias más allá del dominio lógico de interés. La validación del programa se hizo mediante diversas comparaciones con problemas balísticos totalmente integrables (viento con velocidad constante) y con experimentos de dispersión de esferas de vidrio liberadas desde alturas máximas de 15 m [7]. En esta última versión recientemente puesta al día, se modelan toda las condiciones meteorológicas a partir de la estimación de la longitud  $L$  de Obukhov.

#### 4. RESULTADOS

Primero, y a modo de ejemplo, se presenta la simulación de la dispersión de esferas de  $106,7 \mu\text{m}$  de diámetro liberadas desde 15 m donde la velocidad del viento fue de  $7,31 \text{ m s}^{-1}$ ; este es un caso emblemático de [7] que ha sido utilizado para contrastar resultados con experimentos de dispersión de esferas trazadoras de vidrio. La Fig. 1 (a) muestra las trayectorias (2D) de algunas partículas simuladas. A pesar de simularse un caso de estabilidad neutra (ausencia de variaciones verticales en la turbulencia) aquellas partículas que logran mayor dispersión en  $z$  caen más lejos de la fuente. La Fig. 1 (b), muestra el correspondiente histograma de deposición. Las partículas se encuentran con mayor probabilidad alrededor de 125 m de la fuente; la asimetría clásica de las curvas de dispersión se evidencia por una mediana levemente mayor, 130 m, valor a partir del cual se cuentan igual número de partículas corriente arriba y corriente abajo según la dirección principal del viento.

En el presente trabajo el rango de interés está centrado en partículas de 50, 75 y  $100 \mu\text{m}$  emitidas a alturas mayores que las consideradas en [7] y [9]; i. e., por una fuente a 25 m de altura, en condiciones atmosféricas estables, inestables y neutrales y corriente principal de viento unidireccional (para viento rotante, ver [10]). En primer lugar, es importante mencionar que se ha establecido mediante gran número de simulaciones, que las velocidades iniciales de emisión son poco importantes frente a la velocidad del viento, es decir, que efectos inerciales no son importantes para este tipo de partículas, las cuales quedan rápidamente sujetas a la interacción con el viento, para luego decantar gravitacionalmente. Además, efectos importantes de flotación sólo son observables para partículas de densidad menor que  $2 \text{ g cm}^{-3}$ .

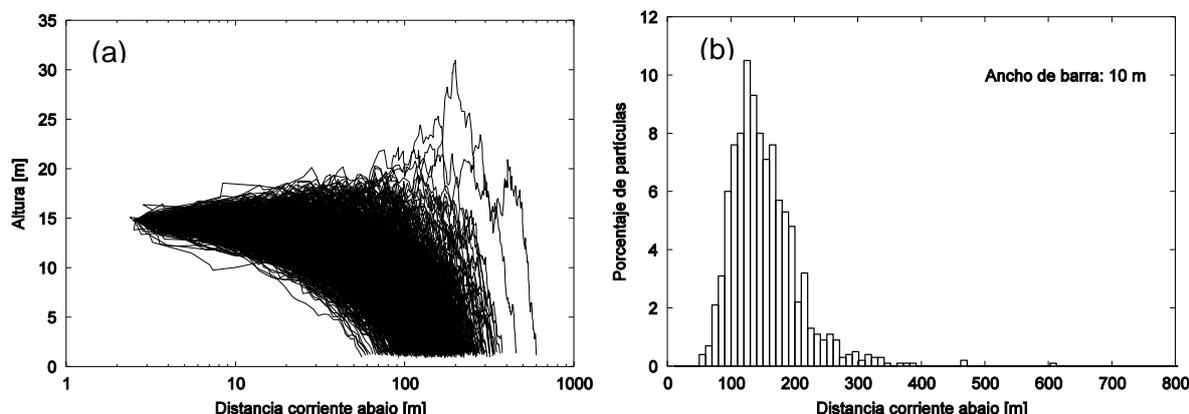


Fig. 1: (a) Trayectorias de  $10^3$  partículas liberadas desde 15m. (b) Histograma correspondiente de deposición. El pico de la distribución está en la clase centrada en 125 m (ancho de clase 10 m); se encuentran partículas hasta una distancia de 605,4 m corriente abajo según la dirección del viento; a 200 m ha caído el 86,4 % del material particulado simulado.

A continuación se presentan algunos resultados de los casos simulados de PMc liberado a 25 m de altura bajo las tres clases de condiciones meteorológicas. El número de partículas utilizado fue de  $10^4$  y se siguen hasta una altura  $Z_{\text{MIN}} = 1,5 \text{ m}$ ; de acuerdo a esto (Ec. 8 y 9), el paso de integración  $h_1$  debería ser del orden de 1 s; por seguridad, y para no perder resolución en posibles variaciones de la turbulencia, se ha usado un valor menor (0,4 s). La velocidad de fricción del viento utilizada fue de  $1,6 \text{ km h}^{-1}$ . En todos los casos se suponen partículas esféricas, con una densidad de  $3 \text{ g cm}^{-3}$  similar al grafito. Con la finalidad de tener como referencia resultados publicados [9], aunque en un escenario ambiental diferente y con otra metodología de cálculo, se comenzó trabajando con longitudes de Obukhov de  $\pm 200 \text{ m}$ ,

para luego llegar a valores de  $\pm 15$  m. Para la simulación del caso neutral se fijó  $z/L = 0$ . Para  $L = \pm 200$  m y el caso neutral correspondiente, las curvas de deposición no muestran grandes diferencias. Las mismas simulaciones con  $L = \pm 15$  m (que corresponden según [8] a condiciones estables-muy estables y muy inestables) muestran en cambio mayores discrepancias (Fig. 2). Para los casos estables, se verifica que el transporte de partículas aumenta sensiblemente a medida que  $L$  disminuye.

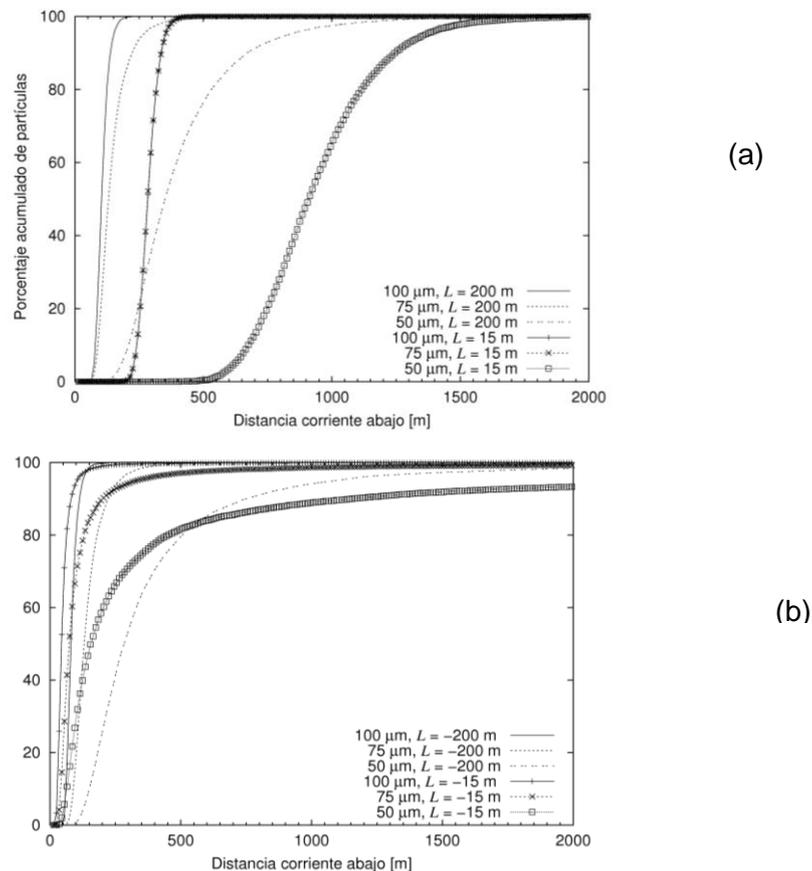


Fig. 2: (a) Porcentaje acumulado de partículas para casos estables con  $L = 200$  m y  $L = 15$  m; el transporte de partículas aumenta notablemente con  $L$  menor. (b) Ídem para casos inestables con  $L = -200$  m y  $L = -15$  m; con  $L$  mayores el grueso de las partículas cae antes pero aumenta la dispersión en la caída de partículas. Ambos fenómenos se deben a la variación de la velocidad media y turbulenta del viento. El caso neutral es bastante similar al inestable con  $L = -200$  m.

Este comportamiento se explica a partir del aumento de la velocidad de la corriente principal del viento (Ec. 5) y de la disminución con  $L$  de la escala de tiempo lagrangiana (Ec. 8), lo cual refuerza el segundo término de la Ec. (7) permitiendo mayor dispersión en la velocidad turbulenta del viento. Este resultado es coincidente con el de Hubbard et ál. [9], quienes interpretan este fenómeno en términos de un aumento en los movimientos verticales en la masa de aire, lo cual produce mayor dispersión en  $Z$ , por lo tanto algunas partículas permanecen más tiempo en vuelo y son más fácilmente arrastradas por el viento. Este fenómeno puede observarse claramente en algunas trayectorias de la Fig. 1 (a). Los casos inestables ( $L < 0$ ), no presentan variaciones tan marcadas, aunque el aumento de  $L$  produce

reducción en el transporte de PMc (el grueso de las partículas cae antes). Esto se debe a la disminución de la velocidad media del viento (Ec. 6); sin embargo, el aumento con  $L$  del tiempo lagrangiano (Ec. 9), incrementa la velocidad turbulenta (refuerza el primer término de la Ec. 7) y la dispersión de velocidades del viento (Ec. 11); este último parámetro, mediante la aparición de valores  $rnd$  adecuados, puede tener un rol importante en la dispersión. En efecto, mientras en el caso  $L = -15$  m el grueso de partículas cae antes que el correspondiente con  $L = -200$  m, (como se observa fácilmente para las partículas de  $50 \mu\text{m}$  de diámetro), una fracción apreciable cae más allá de los 2000 m (Fig. 2, b). Como es de esperar, el transporte más importante corresponde al de partículas de  $50 \mu\text{m}$  las cuales al permanecer más tiempo en el aire, son más fácilmente arrastradas por el viento; por lo tanto, son más costosas de simular en términos de tiempo de cpu ( $tcpu$ ). En general los tiempos de simulación varían en este caso entre 60 y 90 minutos, según sean las condiciones estables o inestables, para una computadora de 2,5 Ghz con recursos compartidos y Linux virtual bajo VmWare. Para estas partículas el TMV es de unos 200 s; sin embargo, en las simulaciones con  $L < 0$  unas pocas partículas (entre 0,001 y 0,5 % para  $L = -200$  m y  $-15$  m respectivamente) fueron arrastradas a distancias mayores que 5000 m, que corresponde a tiempos físicos de vuelo mayores que 20 min; estos casos provocan que los tiempos de integración crezcan exponencialmente y que las partículas deban ser removidas de la simulación luego de ser reportadas en un archivo ad-hoc. Para la computadora mencionada y dentro del rango de tamaños de partículas involucradas, los tiempos de cpu varían linealmente con el inverso del diámetro de la partícula; por ejemplo, para el caso estable con  $L = 200$  m se tiene:  $tcpu = -48,94 \text{ min} + 5537,97 \text{ min} (1 \mu\text{m} / D_p)$ . Para una cuantificación adecuada de la deposición de partículas se calcula moda, mediana y distancia desde la fuente para la cual se encuentra depositado el 80 % del PMc simulado (X80) (Tablas 1 y 2).

		Moda $\pm 200$ m	Mediana $\pm 200$ m	X80 $\pm 200$ m	Moda $\pm 15$ m	Mediana $\pm 15$ m	X80 $\pm 15$ m
E	$50 \mu\text{m}$	184,88	372,83	535,50	875,32	915,90	1125,63
	$75 \mu\text{m}$	115,74	130,62	180,95	285,44	280,12	316,16
	$100 \mu\text{m}$	128,88	108,52	135,37	295,61	283,39	315,93
I	$50 \mu\text{m}$	268,31	288,69	505,36	75,49	155,21	455,86
	$75 \mu\text{m}$	158,45	135,59	205,57	55,23	77,96	132,24
	$100 \mu\text{m}$	109,94	85,17	105,82	45,31	48,85	64,52

Tabla 1. Estadística relevante de las distribuciones de partículas obtenidas para el caso estable (E) e inestable (I), (con  $L = \pm 200$  m y  $L = \pm 15$ ); se consigna moda, mediana y distancia desde la fuente para la cual se deposita el 80 % del PMc simulado; unidades en metro.

		Moda	Mediana	X80
N	50 $\mu\text{m}$	204,45	313,7	695,14
	75 $\mu\text{m}$	137,02	149,32	215,78
	100 $\mu\text{m}$	103,81	94,02	115,76

Tabla 2. Estadística relevante de las distribuciones de partículas obtenidas para el caso neutral (N,  $z/L = 0$ ); se consigna moda, mediana y distancia desde la fuente para la cual se deposita el 80 % del PMc simulado; unidades en metro.

Como ya se mencionó, el transporte mayor corresponde al de partículas de 50  $\mu\text{m}$ , estando los picos de la distribución sensiblemente desplazados respecto a los otros tipos de partículas simuladas. Para los casos estables la estadística confirma el aumento de transporte y dispersión a medida que  $L$  disminuye. Para los casos inestables, la disminución de modas, medianas y del parámetro X80, a medida que  $L$  aumenta, confirma la reducción del transporte de PMc; la dispersión “anómala” de partículas más allá de los 2000 m no tiene incidencia en la estadística final, debido a que el porcentaje de partículas en esta situación no supera el 10 %.

Es interesante notar que en todos los casos, la turbulencia comienza a ser efectiva a partir de  $\sim 30$  m de la fuente, i. e., para dos partículas idénticas bajo las mismas condiciones de simulación, sus trayectorias muestran una clara divergencia a partir de 30 m de la fuente. Por otra parte, por debajo de los 5 m de altura, la deposición de las partículas es manejada por asentamiento gravitacional, alcanzando las partículas velocidades del orden de 0,2 - 0,6  $\text{m s}^{-1}$ .

## 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

En este trabajo se han reportado simulaciones de la dinámica de PMc liberado a la atmósfera, realizadas con un código propio. El integrador de Bulirsch y Stoer, de amplio uso en astrofísica, resultó ser sumamente preciso y rápido para este tipo de cálculos, a pesar de las dificultades inherentes a la turbulencia. En efecto, una de las limitaciones de este método es que la función a integrar sea suave [14]; sin embargo, no se encontraron problemas para simular la trayectoria de un gran número de partículas bajo todas las condiciones de estratificación atmosférica usuales. La subdivisión automática y arbitraria del paso de integración, hasta alcanzar la tolerancia deseada, evita problemas de convergencia relacionados con la longitud de  $h_I$ , el cual queda determinado por el tiempo lagrangiano mínimo para la turbulencia. Al respecto, la única limitación para la eficiencia del método es estimar previamente el tiempo físico de vuelo promedio para las partículas simuladas, debido a que algunas pueden permanecer en el aire durante lapsos de tiempo muy poco comunes, siendo arrastradas a distancias por fuera de la zona de interés o dominio lógico de integración. Las simulaciones de partículas entre 50 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, demandan casi 90 min para los casos más costosos, en una máquina modesta. Por lo tanto, el uso de este método, evita los inconvenientes computacionales reportados en la literatura para PMc pesado [7]. Las simulaciones realizadas indican que, a los efectos del transporte, las velocidades de emisión del PMc no son tan importantes frente a la velocidad del viento, parámetro que maneja el

arrastre de las partículas. Para los casos estudiados bajo condiciones estables e inestables, el PMc se ve más fácilmente transportado corriente abajo a medida que la longitud de Obukhov disminuye. Este comportamiento se explica debido al aumento en la velocidad media del viento y también de la turbulencia, parámetro fuertemente dependiente de la escala de tiempo lagrangiana. Físicamente,  $\tau_L$  maneja el tiempo para el cual las velocidades de las partículas del fluido cambian y se adaptan a las variaciones de la turbulencia. Por lo tanto, para un dado caso,  $\tau_L$  menores favorecen la turbulencia en el fluido y una afectación mayor de las velocidades de las partículas inmersas en él.

Para una fuente situada a 25 m de altura, en una zona suburbana, con viento de  $1,6 \text{ m s}^{-1}$  de velocidad en la capa límite, partículas mayores que  $50 \mu\text{m}$  son depositadas casi en su totalidad dentro de los 1000 m corriente abajo; partículas de  $50 \mu\text{m}$  se tiene mayoritariamente dentro de esta zona pero pueden encontrarse hasta unos 10000 m de la fuente. Estas conclusiones están apoyadas, además, por simulaciones con valores de  $L$  intermedios a los aquí reportados y muestran que este tipo de partículas presentan una dinámica compleja que es necesario continuar estudiando [7, 9]. Se espera de aquí en más continuar explorando el espacio de parámetros del problema y diversificar los casos de aplicación; en particular, adosar un término de convección-difusión para describir la dinámica de partículas de tamaños menores.

## REFERENCIAS

- [1] J. Chow y J. Watson, “New Directions: Beyond Compliance Air Quality Measurements”, *Atmos. Environ.* Vol. **42**, pp. 5166-5168, (2008).
- [2] L.G. Mastina, M. Guffantib, R. Servranckxc, P. Webleyd, S. Barsottie, K. Deand, A. Durantf, J.W. Ewerta, A. Nerie, W.I. Roseg, D. Schneiderh, L. Sieberti, B. Stunderj, G. Swansonk, A. Tupperl, A. Volentikm y C.F. Waythomash, “A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* Vol. **186**, pp. 10-21, (2009).
- [3] B. Asgharian, O. Price, y W. Hofmann, “Prediction of particle deposition in the human lung using realistic models of lung ventilation”, *Aerosol Science.* Vol. **37**, pp. 1209 – 1221, (2006).
- [4] USEPA: United States Environmental Protection Agency, Environmental Protection Agency; *Modeling Applications and Tools*, (2009) <http://www.epa.gov/ttn/scram/modelingappsindex.htm>
- [5] J. Chow y J. Watson, “Overview of ultrafine particles and human health”, en *Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards*, Brebbia C., Ed., WIT Press Eds., pp. 619-631, (2007).
- [6] J. Pairen, y F. Roos, “Enfermedades Profesionales”, en *Neumología*, Housset, B. y de Prado Marcilla, J., Eds., Elsevier España, pp. 437-461, (2001).
- [7] V. Vesovic, A. Auziere y G. Calviac, “Modeling of the dispersion and deposition of coarse particulate matter under neutral atmospheric conditions”, *Atmos. Environ.* Vol. **35**, pp. S99 - S105, (2001).
- [8] J. H. Seinfeld, *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley & Sons, (1985).
- [9] J.A. Hubbard, J.S. Haglund y O.A. Ezekoye, “Simulation of the evolution of particle size distributions containing coarse particulate in the atmospheric surface layer with a

- simple convection-diffusion-sedimentation model”, *Atmos. Environ.* Vol. **43**, pp. 4435–4443, (2009).
- [10] R. G. Cionco, N. E. Quaranta y M. G. Caligaris, “Simulaciones de dispersión y deposición de material particulado grueso”, *Actas del X Congreso de Computación Aplicada a la Industria de Procesos*, ISBN= 978-956-319-925-3, pp. 1-6, (2009).
- [11] M. Göz, S. Laín y M. Sommerfeld, “Study of the numerical instabilities in Lagrangian tracking of bubbles and particles in two-phase flow”. *Computers and Chemical Engineering*. Vol. **28**, pp. 2727–2733, (2004).
- [12] T. Flesch y J. Wilson, “Backguard time lagrangian stochastic dispersion model and their application to estimate gaseous emissions”, *Journal of Applied Meteorology*. Vol. **34**, pp. 1320-1332, (1994).
- [13] J. Stoer y R. Bulirsch, *Introduction to Numerical Análisis*, Springer-Verlag. New York, (1980).
- [14] W. Press, S. Teukolsky, W. Vetterling y B. Flannery, *Numerical Recipes in FORTRAN: the art of scientific computing*, 2<sup>da</sup> ed., Cambridge University Press, (1992).

## VALIDACIÓN DEL MODELO WRF EN MENDOZA

Cremades, Pablo<sup>1\*</sup>, Allende, David<sup>1</sup> y Puliafito, Salvador E.<sup>1</sup>

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA)  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273, Mendoza (5500)  
e-mail: pablocremades@gmail.com web: www.frm.utn.edu.ar/geaa

**Palabras clave:** WRF, Validación, Perfiles Atmosféricos, MODIS, Medidas Radiométricas, Vapor de Agua

**Resumen.** *El modelo Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF/Chem) permite simular la interacción entre los procesos meteorológicos y químicos en múltiples escalas, por lo que resulta una herramienta sumamente útil para estudios de calidad de aire. Sin embargo, siendo una aplicación tan reciente, y en continuo desarrollo, resulta necesario evaluar los resultados del modelo a fin de determinar la configuración más apropiada para el estudio que se desea realizar. Este trabajo muestra la integración de múltiples fuentes de información para la evaluación de los pronósticos meteorológicos arrojados por WRF para el caso particular de la provincia de Mendoza. Se utilizaron los perfiles de temperatura y punto de rocío de la estación SAME, 87418: 32°50'S 68°47'W. A fin de mitigar el problema de la representatividad espacial de los datos de dicha estación, se utilizaron también datos del instrumento Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) abordo de las plataformas Terra y Aqua, que están disponibles para toda la región. Finalmente, se compararon los datos de columna total de vapor de agua con los datos obtenidos mediante un radiómetro operado por el Grupo.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La propuesta de este trabajo es investigar los resultados obtenidos con el modelo Weather Research Forecasting (WRF) [1] utilizando todas las fuentes de datos disponibles y generar una serie de índices estadísticos que nos permitan en el futuro evaluar las salidas del modelo en forma operativa. El dominio de trabajo está centrado en la ciudad de Mendoza, pero los resultados obtenidos son generales.

En la primera parte se investigan los productos atmosféricos generados por el instrumento *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), que ofrece mediciones diarias de las variables atmosféricas sobre todo el planeta. Se establece una metodología de trabajo para la utilización de estos datos en la evaluación de las simulaciones obtenidas con el modelo WRF.

En la segunda parte, se analizan los datos de columna total de vapor de agua obtenidos mediante un radiómetro que opera el grupo de trabajo.

## 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS PERFILES DE TEMPERATURA Y PUNTO DE ROCÍO DE LOS DATOS DE MODIS

El instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) abordo de las plataformas Terra y Aqua ofrece entre sus productos de nivel 2 los, perfiles atmosféricos (MOD07), de las variables temperatura y punto de rocío, con una resolución temporal de hasta 4 mediciones diarias y con una resolución espacial de 5 km x 5 km. [2, 3] Las imágenes cubren un área de 2030 km x 1350 km. A fin de determinar la validez de los datos de este instrumento sobre la región bajo estudio, y con la intención de utilizarlos en el futuro para validar los resultados del modelo WRF, se llevó a cabo un análisis estadístico comparativo con los datos de radiosondeos de la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional *SAME*, 87418: 32°50'S 68°47'W, de Mendoza, correspondientes al período 2007-2010. Dichas mediciones se realizan generalmente durante los meses de verano, durante los cuales aparecen las tormentas de granizo que amenazan la producción agrícola. Se realiza una medición diaria, y la hora estimada de lanzamiento de los radiosondeos es 11:00 hora local. Los datos disponibles de la estación se describen en la Tabla 1.

Año	Serie de datos
2007	Enero - Marzo
2008	Enero - Marzo / Noviembre - Diciembre
2009	Enero - Diciembre
2010	Enero - Marzo

Tabla 1. Datos disponibles de la estación *SAME*, 87418: 32°50'S 68°47'W.

Por otra parte, los datos de MODIS para la región están disponibles para todo el período de 4 años analizado. Se utilizaron solo los datos de la plataforma Terra que pasa por la región de interés en entre las 13:00 y las 16:00 hora UTC (Coordinated Universal Time).

Los perfiles satelitales de temperatura y punto de rocío están dados para 20 niveles en altura fijos, que van entre 1000 mb y 5 mb.

Para comparar los datos de MODIS con los radiosondeos de la estación de la provincia de Mendoza, se extrajeron los datos correspondientes al punto de lanzamiento del sondeo. Luego se interpolaron verticalmente usando un spline cúbico siguiendo un procedimiento similar al descrito en [4], y se obtuvieron los valores de temperatura y punto de rocío correspondientes a los niveles de presión definidos en el radiosondeo. El procedimiento se aplicó a todos los días para los cuales hay datos en el período 2007-2010.

Debido a la presencia de nubes en la región y errores en el instrumento MODIS, no siempre hay datos válidos para un punto en particular, o los datos están incompletos. El criterio para la selección de los datos fue considerar solo aquellos perfiles que tuvieran al menos 2 datos válidos en los 4 niveles más bajos (entre 1000mb y 780mb), y que además no tuvieran más de 6 datos faltantes en total. La Figura 1 muestra la interpolación de los

datos de MODIS para un día y los datos del radiosondeo correspondiente.

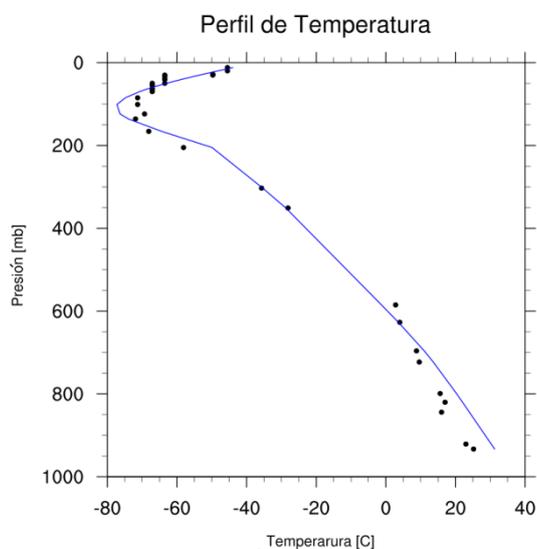


Figura 1. Datos del radiosondeo del día 13 de Febrero de 2007 (puntos negros) y perfil de MODIS para la misma fecha interpolado con un spline cúbico (línea azul).

Siguiendo el criterio de selección descripto anteriormente, solamente fue posible obtener perfiles válidos de MODIS para el 30% de los días, y en consecuencia se planteó una metodología de promediado espacial que se describe en la siguiente sección.

Una vez obtenidos los datos de MODIS para todos los días del período, se calcularon las diferencias medias por nivel y la desviación estándar, tanto para temperatura como para el punto de rocío. La Figura 2 muestra las diferencias absolutas de temperatura para todos los días del año 2007, las diferencias medias por nivel, y la desviación estándar por nivel. Los resultados no cambian significativamente para los mismos meses de otros años.

Las diferencias en los niveles más bajos son muy altas, entre 3 y 5 grados centígrados y con desviaciones de 4 grados aproximadamente. Las diferencias pueden ser consecuencia de la diferencia horaria de las mediciones; los radiosondeos se realizan a las 11:00 hora local, mientras que las mediciones de MODIS son entre las 11:00 y las 13:00 hora local.

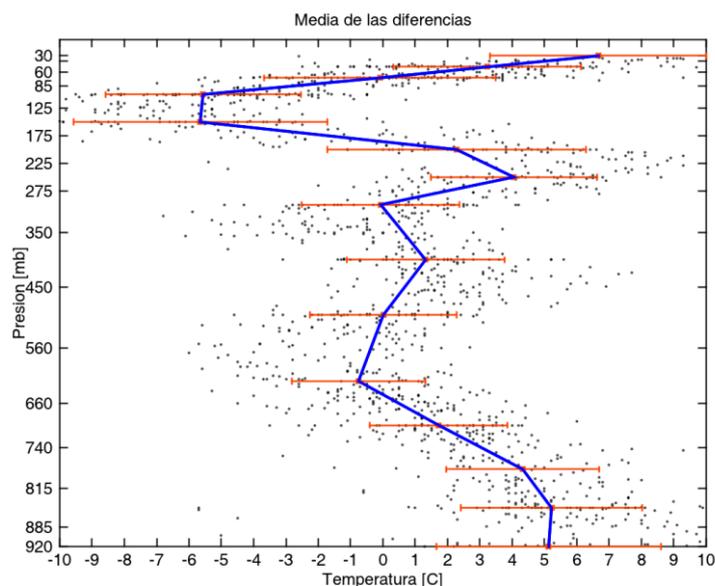


Figura 2. Diferencias medias de temperatura por nivel entre radiosondeos y perfiles de MODIS para el año 2007 (línea azul), y desviación estándar de las mismas (barras naranja). Los puntos son las diferencias absolutas.

La figura 3 muestra la correlación que existe entre los datos para todos los datos del período 2007-2010.

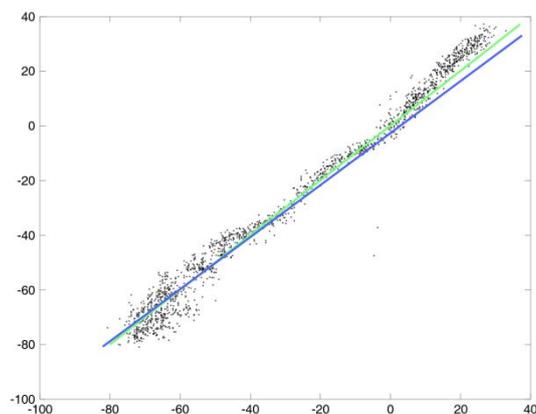


Figura 3. Correlación entre los datos de radiosondeo y MODIS para el período 2007-2010.

## 2.1. Promedio Espacial

Para superar el problema de la disponibilidad de datos válidos en los perfiles de MODIS, se optó por promediar, nivel a nivel, los datos de todos los puntos que estuvieran a una distancia menor a un radio  $r$  del punto de lanzamiento del radiosondeo, con lo que aumenta la probabilidad de obtener un perfil que cumpla con el criterio de selección antes descrito. Este procedimiento se repitió para valores de  $r$  que van de 0 (caso de un único

punto) a 5 puntos, siendo cada punto equivalente a una distancia de 5 km. En cada caso se repitió el análisis estadístico anterior, agrupando los niveles de presión en 3 intervalos: atmósfera baja (920-620) mb; media (500-200) mb y alta (150-30) mb. Para cada uno de estos casos, se calculó la desviación estándar media de cada grupo (STD) y se definió una función  $RDP(r)$  que es la relación entre la cantidad de datos totales y la cantidad de datos válidos usados para calcular el perfil promedio, para un  $r$  dado. Además, se definió otra función  $RP(r)$  que es la cantidad de perfiles válidos obtenidos para un cierto período, respecto de la cantidad total de días en dicho período. Con estas dos funciones se definió un índice llamado desviación estándar pesada  $WSTD(r)$ :

$$WSTD_i(r) = \frac{1}{RP(r)} \times \frac{1}{RDP(r)} \times STD_i(r) \quad (1)$$

donde  $STD_i(r)$  es la desviación estándar de las diferencias en el período considerado,  $RP_i(r)$  tiene en cuenta la mejora en la cantidad de perfiles válidos obtenidos de MODIS para un cierto radio  $r$ , y  $RDP_i(r)$  tiene en cuenta la cantidad de puntos válidos en el ensamble de datos que se usaron para construir ese perfil promedio. El subíndice  $i$  indica el grupo de niveles. La Figura 4 muestra la dependencia de  $WSTD$  con respecto a  $r$ :

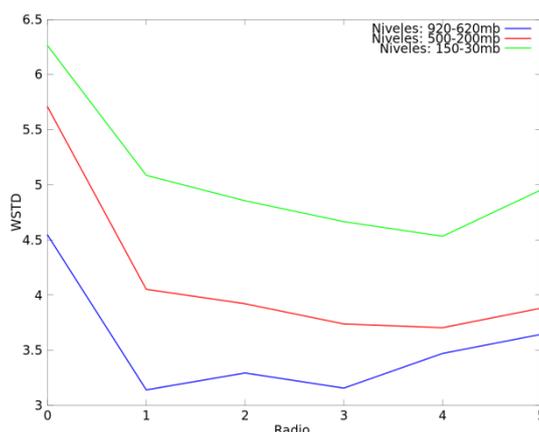


Figura 4. Variación del índice  $WSTD$  con el radio de promedio  $r$ , para 3 grupos de niveles de presión.

Esta figura muestra que el índice  $WSTD_i$  es alto para  $r=0$ , principalmente debido a la baja cantidad de perfiles válidos obtenidos en el período. A medida que aumenta el radio de promedio, aumenta la probabilidad de obtener perfiles válidos para un conjunto de días en una serie de datos de MODIS. Sin, embargo si el radio aumenta indefinidamente, el índice  $WSTD$  aumenta también, poniendo de manifiesto la falta de representatividad del ensamble respecto al punto sobre el que desea obtener el perfil. Las curvas son similares para los 3 intervalos, lo que indica que los resultados son independientes del nivel de presión que se trate. Del análisis de la figura se deduce que el radio ideal es  $r=4$ , para el cual se consigue un mínimo de  $WSTD$ . Para este radio, la probabilidad de obtener un perfil válido en el producto atmosférico de MODIS es del 72% y las desviaciones respecto de las mediciones con radiosonda oscilan entre  $\pm 4^\circ\text{C}$ .

Finalmente, se compararon los datos arrojados por el modelo WRF para 2007 con los

correspondientes radiosondeos. La configuración del modelo WRF utilizada se encuentra descrita anteriormente [5]. Básicamente, se utiliza una configuración de microfísica atmosférica estándar (necesarias para el cálculo de transferencia de calor y evolución de la capa límite planetaria), considerando en este caso 3 dominios anidados con 27 niveles de altura, y una resolución espacial de 27, 9 y 3 km, respectivamente. La Figura 5 resume los resultados obtenidos, luego de interpolar linealmente las salidas de WRF para calcular las diferencias en los niveles de presión propios de los radiosondeos. Las diferencias medias son aproximadamente cero para todos los niveles, con desviaciones que no superan los 2°C. Cerca de la superficie las diferencias rondan los 3°C, posiblemente por una representación poco adecuada del tipo y uso de suelo en el modelo [].

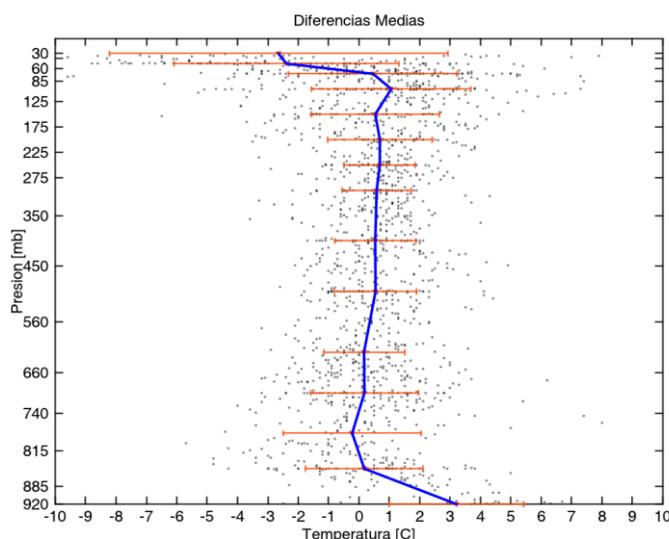


Figura 5. Perfil de diferencias entre WRF y radiosondeos para Enero, Febrero y Marzo de 2007.

### 3. VAPOR DE AGUA TROPOSFÉRICO

El equipo de trabajo cuenta con un radiómetro de ondas milimétricas que opera a 92 Ghz y permite la determinación de contenido de vapor de agua en la tropósfera. Los datos obtenidos en sucesivas campañas de medición fueron comparados con los valores inferidos de mediciones con radiosondas y expuestos en [6]. En esta oportunidad se comparan los datos de columna total de vapor de agua medidos con el radiómetro (en  $g/cm^2$ ), con los extraídos de los datos de MODIS y con los resultados del modelo WRF. Los datos analizados corresponden a los meses de Enero, Febrero y Marzo del año 2007. La Figura 6 muestra la correlación que existe entre las fuentes de información disponibles. Puede observarse que los datos del radiómetro se ajustan bien a los del radiosondeo como se discute en [6]. WRF consigue replicar el comportamiento del vapor de agua en la mayoría de los casos. Una fuente de incertidumbre en el modelo es la presencia de nubes que aumentan el contenido de agua líquida. Si bien el modelo es capaz de reproducir el fenómeno, difícilmente coincida en el tiempo, lugar y características. MODIS en general muestra un contenido menor de vapor de agua que el reportado por los

radiosondeos, probablemente debido a la baja resolución vertical del instrumento en los niveles más bajos de la tropósfera, donde es mayor la concentración de vapor.

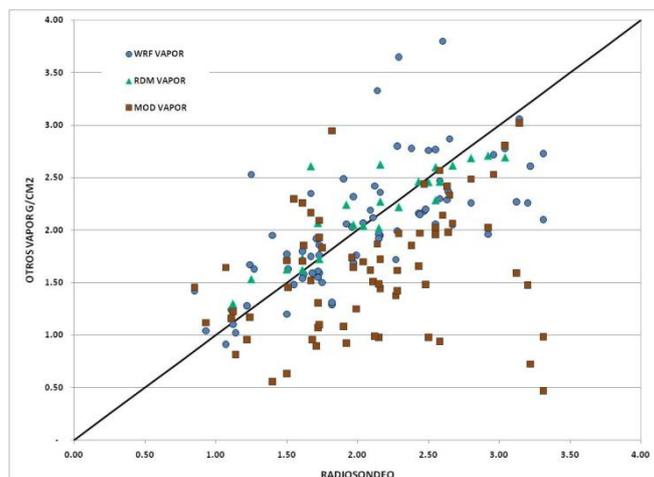


Figura 6. Correlación en el contenido total de vapor de agua en  $\text{g}/\text{cm}^2$  entre varios datos y el valor del radiosondeo (RDS) (eje horizontal). Valores horarios calculados para las 8:00 UTC de cada día sobre Mendoza. RDM: Radiometría en 92 GHz (triángulos verdes); MOD: MODIS (cuadrados marrones). Simulación WRF (círculos celestes).

La figura 7 muestra una serie de tiempo correspondiente al mes de Febrero de 2007, con los datos de contenido total de vapor de agua obtenidos de WRF, radiosondeo, MODIS, radiómetro y una estación meteorológica para medir humedad superficial.

La salida del modelo WRF tiene una resolución horaria lo que permite ver en detalle la variación temporal. Los datos del radiómetro están sólo disponibles para algunos días del período y en horas de la mañana.

WRF y el radiómetro coinciden con los datos de radiosondeos, con diferencias que no superan los  $0,5 \text{ g}/\text{cm}^2$ . Por otro lado, MODIS indica valores más bajos en toda la serie, nuevamente como consecuencia de la baja de resolución vertical, y la frecuente falta de datos en los niveles más bajos.

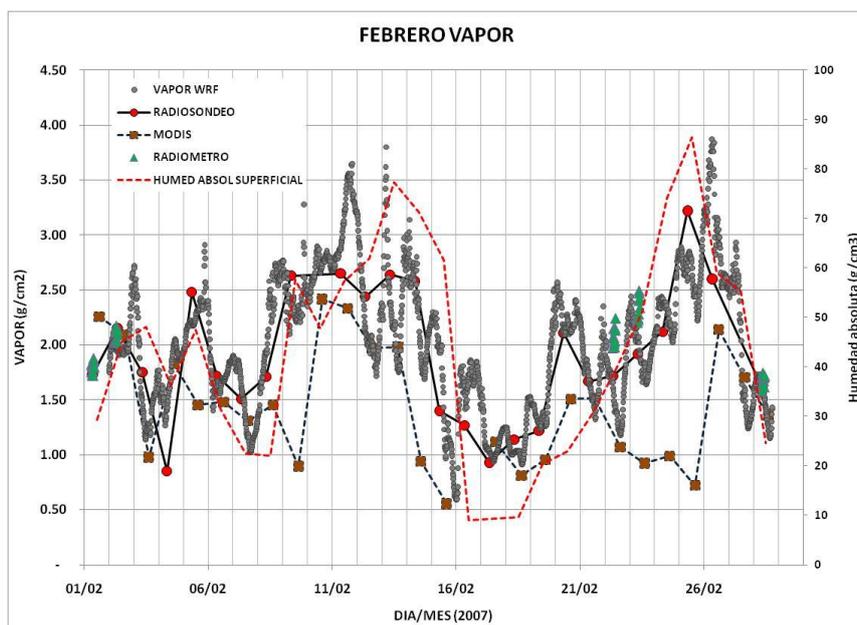


Figura 7. Serie temporal para Febrero de 2007 de contenido total de vapor de agua en  $\text{g}/\text{cm}^2$ : Radiosondeo (círculos rojos, línea negra; 1 vez por día); Radiometría en 92 GHz (triángulos celestes, cada 15 minutos); MODIS (cuadrados marrones, una vez por día). Simulación WRF (círculos grises 1 valor por hora). En línea de puntos rojos el valor medio diario de la humedad absoluta superficial ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

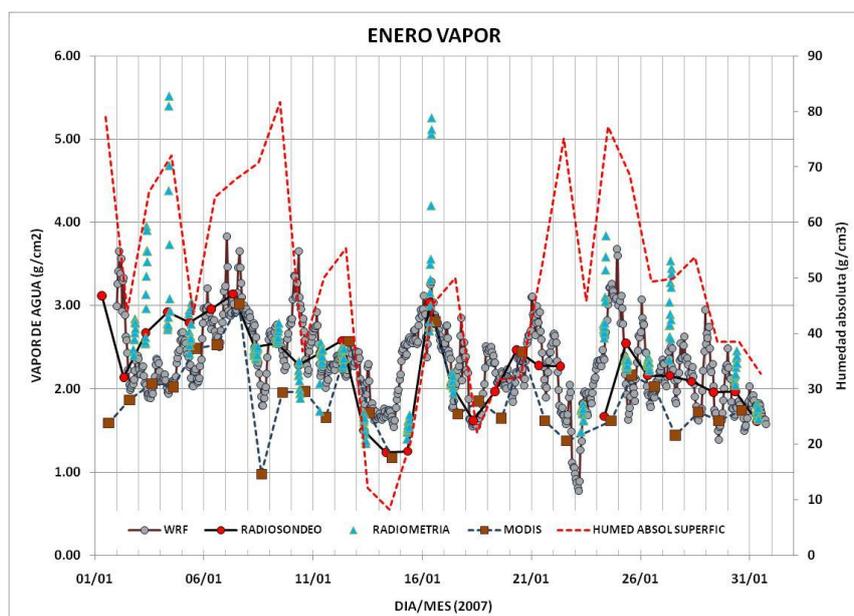


Figura 8. Serie temporal para Enero 2007 de contenido total de vapor de agua en  $\text{g}/\text{cm}^2$ : Radiosondeo (círculos rojos, línea negra; 1 vez por día); Radiometría en 92 GHz (triángulos celestes, cada 15 minutos); MODIS (cuadrados marrones, una vez por día). Simulación WRF (círculos grises 1). La figura 8 muestra una serie temporal similar para el mes de Enero de 2007. Las conclusiones son las mismas. Cabe notar que la radiometría acusa valores muy altos para determinadas horas de la mañana, posiblemente como consecuencia de la presencia de nubes en la zona. Si bien WRF es capaz de simular estos fenómenos, en general no

siempre coinciden en fecha y ubicación, y por ello los datos no coinciden. En el caso de MODIS, la presencia de nubes impide la operación del instrumento, por lo que en tal caso no hay datos para los puntos afectados.

#### 4. CONCLUSIONES

Hemos analizados múltiples fuentes de información de datos meteorológicos, con el propósito de determinar los márgenes de error con respecto a un instrumento considerado patrón como es la radiosonda y validar la configuración del modelo WRF. La metodología propuesta es de gran utilidad para evaluar los resultados de este y otros modelos, tanto de escala local como regional, mediante cualquiera de las fuentes de datos aquí descriptas.

Si bien los radiosondeos son muy confiables y su uso en meteorología es ampliamente difundido, sólo representan las condiciones locales cercanas al punto de lanzamiento. Además, en Mendoza, los radiosondeos se realizan por lo general sólo durante los meses de verano, y una vez al día. El instrumento MODIS ofrece información similar a la de los radiosondeos, pero con una cobertura espacial global y con un máximo de 4 mediciones diarias, lo que lo convierte en una herramienta muy útil para evaluar los resultados de un modelado sobre cualquier dominio espacial. Sin embargo, se mostró en este trabajo que es necesario preprocesar la información de MODIS para evitar problemas relacionados con la falta de datos. Además, se establecieron los márgenes de error esperables de este instrumento, mediante un análisis sobre un período de 4 años y usando los radiosondeos como patrón de comparación.

En todos los casos, se estudió la capacidad de WRF de reproducir el comportamiento de las variables meteorológicas bajo estudio. El modelo mostró buenos resultados, con desviaciones de la temperatura y punto de rocío que no superan los 2°C hasta los 150 mb. La columna total de vapor de agua obtenida de los datos de WRF coincide con los datos de los radiosondeos y también con los inferidos por el radiómetro, salvo cuando hay presencia de nubes que aumentan el contenido de agua líquida. Si bien esta es una limitación presente del modelo, existen permanentes actualizaciones de los módulos de generación de nubes incluyendo parametrizaciones microfísicas e interacción con fuentes antropogénicas, lo que permitirá mejorar la calidad de los estudios de calidad de aire.

El radiómetro, si bien está limitado a la determinación de contenido total de vapor de agua, puede resultar útil en el estudio de determinados procesos atmosféricos, como explican Ortiz y Puliafito en [6]. La comparación de los datos de este instrumento con los obtenidos de MODIS y radiosondeos, muestran una excelente correlación salvo para las capas más bajas de la tropósfera, donde MODIS presenta problemas para determinar el contenido de vapor de agua.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Michalakes, J. Dudhia, D. Gill, T. Henderson, J. Klemp, W. Skamarock, and W. Wang, "The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance," (2004).
- [2] Suzanne W. Seemann, Eva E. Borbas, Jun Li, W. Paul Menzel, Liam E. Gumley, "Modis atmospheric profile retrieval algorithm theoretical basis document", *Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies University of Wisconsin-Madison*, Version 6 (2006).
- [3] Bradley T. Zavodsky, Steven M. Lazarus, Peter F. Blottman, David W. Sharp, "Assimilation of modis temperature and water vapor profiles into a mesoscale analysis

- system”, NOAA/National Weather Service (2003).
- [4] Gabriela S. Lakkis, Adrián E. Yuchechen y Pablo O. Canziani, “Estudios de las observaciones de tropopausa sobre el cono sur de Sudamérica mediante GPS a bordo de los satélites SAC-C y CHAMP”, *Revista Meteorológica*. Vol. 31, pp. 85-98 (2006).
  - [5] Rafael P. Fernandez, Fernando H. Castro, David G. Allende, Pablo G. Cremades, Salvador E. Puliafito, “Ozono Troposférico: Mediciones experimentales y modelado computacional”, *Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería*, pp. 98-113 (2011).
  - [6] Gabriel P. Ortiz, Salvador E. Puliafito, “Determinación del contenido de vapor de agua troposférico mediante radiometría y radiosondeo”, *Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería*, pp. 71-78 (2008).

## MODELADO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM10 CONSIDERANDO LA VARIABILIDAD ESTOCÁSTICA DE LAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS Y DE EMISIÓN

Diez, Sebastián<sup>1,2</sup> \*; Ré, Miguel<sup>1</sup> y Britch, Javier<sup>1</sup>

1: Servicios de Ingeniería Química y Ambiental (SIQA)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional

2: Becario CONICET  
Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba.  
e-mail: sdiez@quimica.frc.utn.edu.ar, web: <http://www.siqua.com.ar>  
e-mail: javierbritch@hotmail.com

**Palabras clave:** PM10, Variabilidad Estocástica, Monte Carlo, ISC-MC.

**Resumen.** *El modelado de la dispersión de contaminantes generalmente se realiza considerando a las variables del modelo como deterministas, es decir variables que adoptan valores puntuales, sin considerar la probabilidad de ocurrencia de los eventos contaminantes. En este trabajo ha sido estimada la concentración de PM10, considerando la variabilidad estocástica tanto de las variables atmosféricas (Dirección y Velocidad del Viento, Estabilidad Atmosférica y Temperatura Ambiente) como así también la de los factores de emisión de una chimenea en particular (Velocidad y Temperatura de los gases de salida y Tasa de Emisión). Para ello, se ha desarrollado un programa sencillo que combina los algoritmos de dispersión del modelo ISC (Industrial Source Complex) con la simulación Monte Carlo (MC). Este nuevo modelo denominado ISC-MC ha sido aplicado a una fuente puntual ubicada a aproximadamente 2 km de la Ciudad de Malagueño (Provincia de Córdoba). Esta nueva aplicación ha permitido (i) conocer la distribución de concentraciones de PM10 para los distintos receptores, (ii) determinar la ubicación de aquellos percentiles de interés y (iii) estudiar la incidencia que tienen las distintas variables sobre la concentración.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El modelado de la dispersión de contaminantes es una de las herramientas de mayor aplicación en la toma de decisiones (medidas correctivas/preventivas) referidas a la protección de la salud de la población. Sin embargo, estas medidas suelen basarse en el “peor de los casos”, desconociendo la probabilidad de ocurrencia de este tipo de escenario.

Cuando se habla del “peor de los casos”, se hace referencia al valor que toma cada una de las variables independientes y que generan que la respuesta más desfavorable del modelo. Dado que cada parámetro de entrada toma un único valor, sin considerar la variabilidad de los mismos, se dice entonces que los modelos son deterministas [1].

La principal desventaja de los modelos deterministas, es que ante la imposibilidad de considerar la variabilidad, se hace inviable la determinación de la probabilidad con que los distintos escenarios podrían sucederse. Este es el caso de la mayoría de los modelos utilizados actualmente en la estimación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera [2].

El objetivo de este trabajo es caracterizar la concentración de material particulado PM10, considerando la variabilidad estocástica tanto de los parámetros atmosféricos (Dirección y Velocidad del Viento, Estabilidad Atmosférica y Temperatura Ambiente) como así también la de los de emisión (Velocidad y Temperatura de los gases de salida y Tasa de Emisión) de una fuente puntual. Esto nos permitirá estudiar la influencia que tienen las distintas variables sobre la concentración y aproximar las distribuciones de concentración para cada receptor, pudiendo determinar la ubicación de aquellos percentiles de interés.

## 2. MODELO GAUSSIANO

Para el modelado de la dispersión de PM10 se utilizará el modelo Gaussiano, debido a su simplicidad y amplia aplicación regulatoria. Este modelo fue desarrollado a partir de investigaciones sucesivas de Turner [3] [4], Gifford [5] y Pasquill [6] entre otros, llegando a su derivación matemática con las siguientes suposiciones:

1. emisión continua y sin variación en el tiempo,
2. conservación de masa durante el transporte del contaminante,
3. condiciones meteorológicas constantes durante el transporte, y
4. distribución gaussiana vertical y lateral de la concentración.

La ecuación general del modelo es la siguiente:

$$C(x, y, z, h_e) = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_s} \cdot e^{-0.5 \cdot \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \cdot \left[ e^{-0.5 \cdot \left(\frac{z-h_e}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-0.5 \cdot \left(\frac{z+h_e}{\sigma_z}\right)^2} \right] \quad (1)$$

donde:

C: concentración del contaminante [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

x: distancia del receptor a sotavento [m]

y: distancia del receptor, perpendicular al eje de simetría de la pluma [m]

z: altura del receptor [m]

Q: tasa de emisión [g/s]

$u_s$ : velocidad del viento a la altura de la emisión [m/s]

$h_e$ : altura efectiva de la chimenea [m]

$\sigma_y, \sigma_z$ : coeficientes de dispersión lateral y vertical.

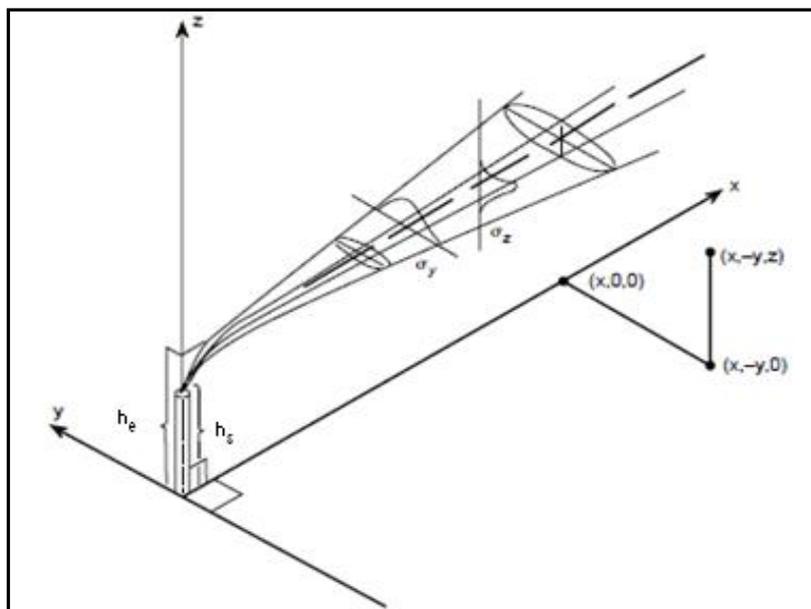


Figura 1. Sistema de coordenadas de la fuente puntual.

En la Figura 1 se muestra el sistema de coordenadas utilizado por el modelo gaussiano.

### 3. MODELADO ESTOCÁSTICO DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

Para el modelado de la concentración de PM10 considerando la estocasticidad de las variables atmosféricas y de emisión, se han combinado los algoritmos del modelo ISC con la simulación Monte Carlo (MC). Esta nueva aplicación, denominada ISC-MC, ha sido desarrollada mediante la implementación de un código VBA (Visual Basic for Applications), acoplado al utilitario Crystal Ball.

El modelo ISC (Industrial Source Complex) es un modelo del tipo gaussiano, creado por la EPA como de aplicación regulatoria, de distribución libre y gratuita, para la preparación y revisión de licencias ambientales de instalaciones industriales.

Por otra parte, el método de MC es un algoritmo en el que los valores que toman las variables independientes del modelo, son sorteados repetitivamente a partir de sus distribuciones de probabilidad, mediante la generación de números aleatorios (por ej. mediante el Método de Transformación Inversa). Cada vez que se genera un conjunto de valores para las variables (iteración), se obtiene el valor de salida mediante las operaciones matemáticas del modelo. Los conjuntos de valores sorteados, junto a la respuesta que produce son almacenados para su posterior análisis [7].

En la aplicación aquí desarrollada, en lugar de alimentar al modelo con valores puntuales de factores meteorológicos y de emisión, ambos tipos de variables son caracterizadas mediante distribuciones de probabilidad, por lo que los resultados obtenidos son distribuciones de concentración de PM10 para un determinado receptor.

En la Figura 2 se presenta el modelo conceptual del método de Monte Carlo.

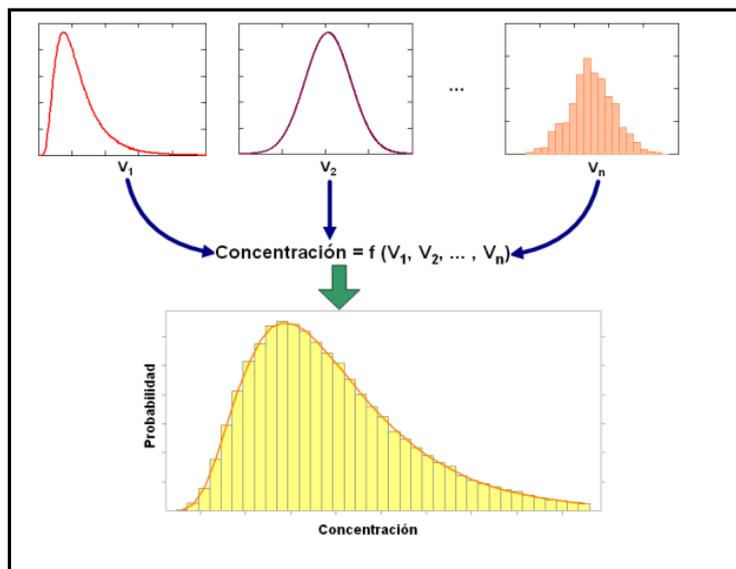


Figura 2. Modelo conceptual del método de Monte Carlo.

#### 4. CASO DE ESTUDIO

Con el fin de aplicar la metodología desarrollada, ha sido seleccionada una fuente puntual estacionaria, ubicada a aproximadamente 2 kilómetros de la Ciudad de Malagueño. La elección de esta fuente radica principalmente en la disponibilidad de datos meteorológicos y de emisión.

##### 4.1. Datos de emisión

La fuente bajo estudio tiene una altura de 30 metros, y un diámetro de 3 metros. En cuanto a los parámetros de emisión (tasa de emisión, temperatura y velocidad de salida) se dispone de datos perteneciente 14 muestreos realizados en el período 2006-2007. En la Tabla 1, se presenta un resumen estadístico de los parámetros de emisión.

Estadísticos	Temperatura [°K]	Velocidad [m/s]	Tasa de Emisión [g/s]
Media	442.50	12.70	115.28
Error típico	3.84	0.51	4.52
Mediana	445.15	12.70	116.13
Moda	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	14.37	1.90	16.90
Varianza de la muestra	206.37	3.61	285.74
Curtosis	-1.41	-0.94	0.02
Coficiente de asimetría	-0.42	0.19	0.26
Rango	40.00	5.98	59.98
Mínimo	420.15	9.98	90.01
Máximo	460.15	15.96	150.00

Tabla 1. Resumen estadístico parámetros de emisión.

Debido a que los datos con que se cuenta no son suficientes para el ajuste mediante distribuciones de probabilidad teóricas, la variabilidad de los parámetros de emisión ha sido caracterizada mediante distribuciones simples. En este caso, como se dispone de un valor mínimo y un máximo, se definirá a las variables de emisión suponiendo que siguen una distribución uniforme. En la Figura 3 se pueden observar las distribuciones supuestas para los parámetros de emisión.

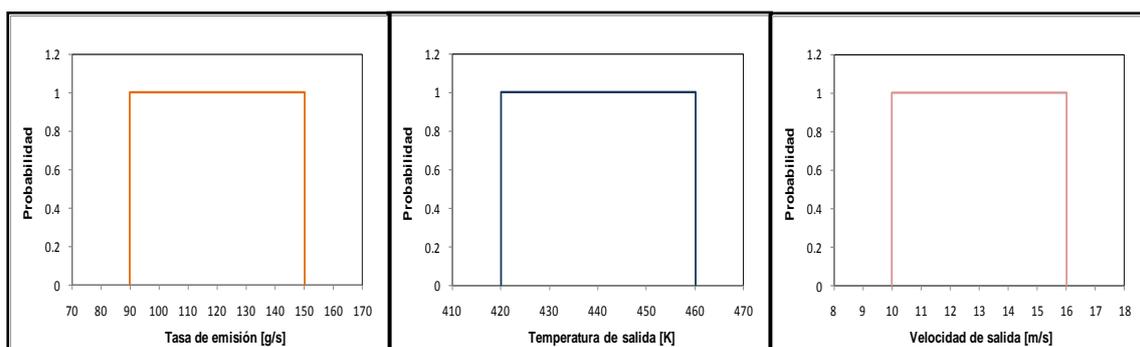


Figura 3. Distribución uniforme de la tasa de emisión, la temperatura y velocidad de salida de los gases de la chimenea.

#### 4.2. Datos Meteorológicos

Los datos de dirección y velocidad del viento, estabilidad atmosférica y temperatura ambiente (Figuras 4 y 5) han sido obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y corresponden a 5 años de datos horarios (período 2004-2008). Para el caso de la altura de la capa de mezcla, los datos han sido derivados según metodología propuesta por la EPA [8].

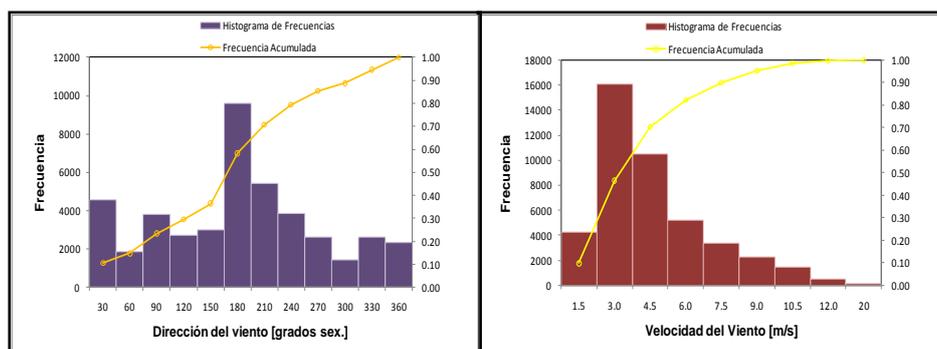


Figura 4. Histograma de frecuencias y frecuencia acumulada de la dirección y velocidad del viento (período 2004-2008).

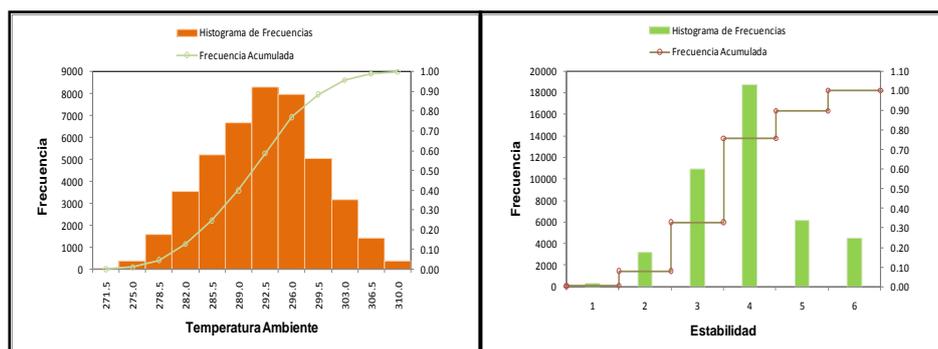


Figura 5. Histograma de frecuencias y frecuencia acumulada de la temperatura ambiente y estabilidad atmosférica (período 2004-2008).

### 4.3. Ubicación receptores y topografía del terreno

La zona bajo estudio ha sido representada por una grilla de 187 nodos (receptores) separados entre sí cada 100 metros (grilla de 17 x 11). Esta cubre totalmente la zona urbana de Malagueño.

Para este trabajo se considerará que el terreno es plano y sin obstáculos entre la fuente y los receptores. Además, como menos del 50% de la zona de influencia, determinada por un círculo de 3 kilómetros de radio con centro en el foco emisor, corresponde a zonas industriales, comerciales o de residenciales se considerará que la zona de afectación es del tipo rural [9].

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Distribución de Concentración de PM10

En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos para una simulación de 100.000 iteraciones, calculando la concentración horaria de PM10 para el receptor máximamente expuesto en la zona urbana de Malagueño, el cual se encuentra a 1700 metros de la fuente en dirección Norte ( $X=0\text{m}$ ,  $Y=1700\text{m}$ ).

Se puede apreciar que el valor obtenido para la Media es de  $26.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para la Mediana (Percentil 50)  $3.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y para el Percentil 95 de  $135.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto último implica que el 95% del tiempo, la concentración de PM10 para este receptor será menor o igual a  $135.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

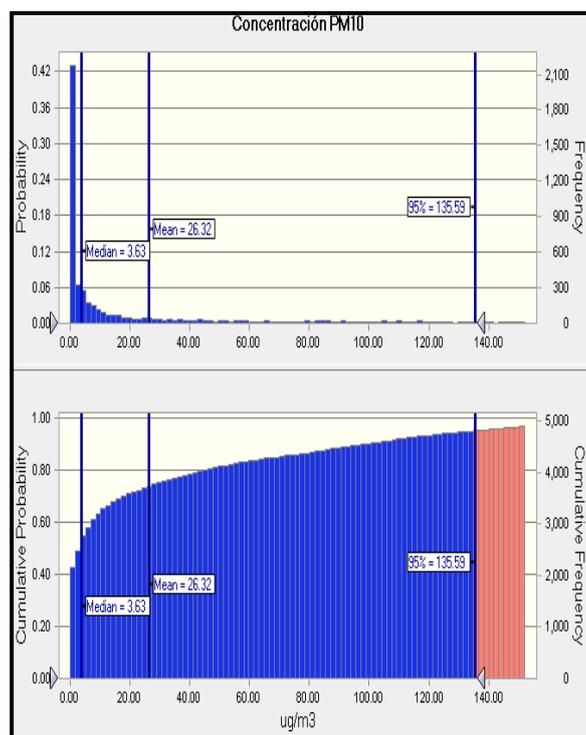


Figura 6. Densidad de probabilidad y probabilidad acumulada concentración horaria PM10.

Según la EPA las decisiones en lo que hace a la gestión de riesgos a la salud, deberían basarse en el peor de los casos. También sugiere que en el caso de disponer de información suficiente, las decisiones podrían fundamentarse en la cola de la distribución (por ej. Percentil 95) [10]. En la Tabla 2 se compara el valor máximo para el receptor máximamente expuesto estimado con ISC, versus el Percentil 95 obtenido con ISC-MC, utilizando en ambos los mismos datos y las mismas opciones de modelación. Los resultados indican que el valor máximo obtenido con ISC representa más del doble del Percentil 95 obtenido con ISC-MC.

<i>Estimación</i>	<i>Concentración [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</i>
<b>ISC (Máximo)</b>	308,4
<b>ISC-MC (Perc. 95)</b>	135,6

Tabla 2. Comparación ISC vs ISC-MC.

## 5.2. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es el estudio de cómo la variación en una variable de salida de un modelo se puede atribuir, cualitativa o cuantitativamente, a distintas fuentes de variación en las variables de entrada [11]. Este análisis proporciona beneficios clave, ya que se puede conocer cuáles son las variables de mayor influencia sobre los resultados, y de esta manera enfocar los recursos a mejorar su caracterización.

En la Figura 7 se muestra el gráfico tipo tornado obtenido mediante el utilitario Crystal Ball. Este representa la sensibilidad de la respuesta del modelo (Concentración de PM10) a los diferentes valores de entrada, medido a través del coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ). Como se puede apreciar la dirección del viento es la variable de mayor incidencia sobre la concentración de PM10 (51%), muy por encima de las demás variables. Por otra parte, la velocidad del viento es la segunda variable de importancia (21%), siendo la estabilidad atmosférica (13%) y la tasa de emisión (7%) las variables que ocupan el tercer y cuarto puesto. Los últimos lugares los ocupan la velocidad de salida de la chimenea, la temperatura ambiente y la temperatura de los gases emitidos.

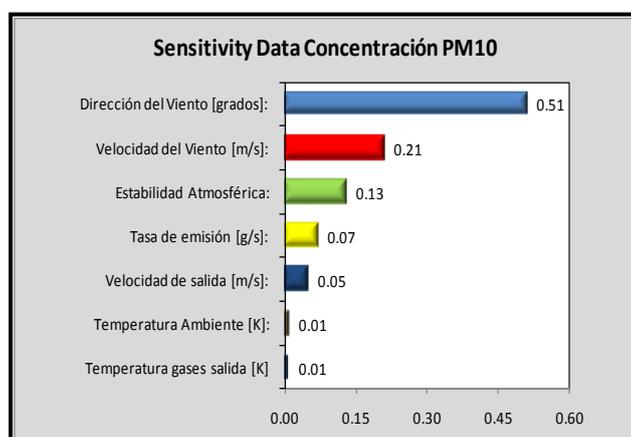


Figura 7. Sensibilidad de la concentración de PM10 medido a través del coeficiente de correlación de Spearman.

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estimado la concentración de PM10 considerando la variabilidad de las variables atmosféricas y de las de emisión, mediante el desarrollo de un modelo que combina el método de Monte Carlo con los algoritmos de dispersión del modelo ISC. Este modelo, denominado ISC-MC, ha sido desarrollado mediante la implementación de un código en VBA (Visual Basic for Applications), acoplado con el utilitario Crystal Ball (Palisade Corporation). Como caso de estudio fue tomada la Ciudad de Malagueño, la cual se ubica aproximadamente a 2 km de un complejo de chimeneas emisoras de PM10.

Para una simulación de 100.000 iteraciones, la concentración horaria de PM10 para el receptor máximamente expuesto ( $X=0m$ ,  $Y=1700m$ ), muestra que el Percentil 95 tiene un valor de  $135.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y que la Media es de  $26.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se encontró que el Percentil 95 representa menos del 50% del valor máximo obtenido con ISC (utilizando los mismos datos y opciones de modelación). A diferencia de la estimación determinista, ahora se conoce la ubicación de los percentiles de interés.

Por otro parte esta aplicación permitió determinar la influencia que tienen las variables sobre el modelo, siendo la dirección del viento la variable de mayor peso (51%), muy por encima de las demás variables. El análisis de sensibilidad sugiere que la obtención de más y mejores datos de la dirección del viento redundaría en un mejoramiento de la precisión de las estimaciones del modelo ISC-MC.

En definitiva, la aplicación presentada aquí ha permitido estimar la distribución de concentraciones de PM10 teniendo en cuenta distintos escenarios, identificar los valores que toman aquellos percentiles utilizados en la toma de decisiones y conocer la sensibilidad del modelo a las variables independientes.

## REFERENCIAS

- [1] Raychaudhuri S., "Introduction to Monte Carlo simulation", *Proceedings of the 2008 winter simulation conference*. pp. 91-100 (2008).
- [2] García-Díaz J.C. y Gozalvez-Zafrilla J.M. 2011, "Uncertainty and Sensitivity Analysis in Code Environmental Model for Risk Assessments from Industrial Source Complex", *Procedia Social and Behavioral Sciences*. Vol. 2, pp. 7656-7657 (2010).
- [3] Turner D.B. "A diffusion model for an urban area", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Vol. 3, pp. 83-91 (1964).
- [4] Turner D.B. *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*. PHS Publication N° 999-AP-26. U.S. Department of Health, Education and Welfare, National Air Pollution Control Administration (1970).
- [5] Gifford F.A. "Atmospheric Dispersion Calculations Using the Generalized Gaussian Plume Model", *Nuclear Safety*. Vol. 2, pp. 56-59 (1960).
- [6] Pasquill F. *Atmospheric Diffusion. The Dispersion of Windborne Material from Industrial and Other Sources* (2<sup>nd</sup> Ed). John Wiley and Sons (1974).
- [7] Glasserman P. *Monte Carlo methods in financial engineering*. Springer-Verlag (2003).
- [8] EPA. *Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources*, Revised (EPA-454/R-92-019) (1992).
- [9] EPA. *Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions* (2005).
- [10] EPA. *Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume III - Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment*. Office of Emergency and Remedial Response. (2002).
- [11] Saltelli A., Ratto M., Andres T., Campolongo F., Cariboni J., Gatelli D. Saisana M. y Tarantola S. *Global Sensitivity Analysis*. John Wiley & Sons (2008).



## SIMULACIÓN DE UN ACCIDENTE QUÍMICO CON LA HERRAMIENTA CFD-DDC: PLANIFICACIÓN DE RESPUESTA A EMERGENCIAS EN CIUDADES

Sánchez<sup>1\*</sup>, Erica Y.; González<sup>2</sup>, Esteban M.; Porta<sup>1</sup>, Atilio A.; Acquesta<sup>2</sup>, Alejandro D. y Jacovkis<sup>3,4</sup>, Pablo M.

<sup>1</sup> Centro de investigaciones del Medio Ambiente (CIMA)  
Facultad de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional de La Plata (UNLP)  
47 y 115 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.  
yaninasanch@gmail.com, web: <http://www.quimica.unlp.edu.ar/centros/cima/index.html>

<sup>2</sup> Departamento Modelado y Manejo de Crisis (DMMC)  
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF)  
San Juan Bautista de La Salle 4397 (B1603ALO) Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.  
{emgonza, aacquesta}@gmail.com, web: <http://www.citedef.gob.ar/>

<sup>3</sup> Departamento de Computación e Instituto de Cálculo  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires (UBA)  
Pabellón II, Ciudad Universitaria (C1428EHA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.  
pablo.jacovkis@gmail.com, web: <http://www.ic.fcen.uba.ar/historia.html>

<sup>4</sup> Departamento de Matemática  
Facultad de Ingeniería  
UBA  
Paseo Colón 850 (C1063ACV) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.  
pablo.jacovkis@gmail.com

**Palabras clave:** Planificación de respuesta a emergencias, FLACS, DDC, materiales peligrosos, exposición aguda.

**Resumen.** *Los responsables en el manejo de una emergencia no sólo necesitan contar con la información de cómo se distribuye el contaminante en el ambiente, sino también del daño potencial en la población expuesta. Para tal fin, son tan necesarios los modelos de transporte de contaminantes como los modelos de exposición. Considerando que las regiones urbanas densamente pobladas constituyen los escenarios de mayor preocupación, en este artículo se analiza una simulación de un accidente químico cercano a un importante centro urbano, mediante el acoplamiento del modelo CFD FLACS con el modelo DDC. Los resultados muestran cómo se extienden los alcances de FLACS y que, junto a DDC, constituyen una herramienta de características únicas para la planificación de emergencias. Por un lado, FLACS ofrece un detalle minucioso de la distribución de los contaminantes en regiones altamente edificadas, mientras que por otro lado DDC contribuye con estimaciones del nivel de daño mínimo y máximo esperado, ofreciendo un monitoreo continuo con una estimación progresiva y, además, un enfoque más descriptivo que otras metodologías de uso corriente. Consideramos que estas características son fundamentales en la apropiada gestión de emergencias, ya que permiten una mejor comprensión de la situación y del tiempo disponible para la intervención oportuna.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El daño potencial de la liberación accidental de materiales peligrosos en la atmósfera sigue siendo motivo de preocupación, especialmente en regiones urbanas densamente pobladas.

Los patrones espaciales, y las variaciones en el tiempo de las concentraciones de sustancias peligrosas, junto a los efectos potenciales sobre la población subyacente, son necesarios para ayudar a la respuesta en una emergencia. Para tal fin, hay modelos que predicen el transporte y la dispersión de sustancias peligrosas, y otros que estiman los efectos potenciales, experimentados por la población expuesta. Estos modelos son necesarios tanto para desarrollar protocolos específicos, como para determinar y caracterizar la fuente de emisión, del mismo modo que ayudan a desarrollar planes de respuesta a emergencias o, de ser posible, pueden ser apoyo a las actividades de respuesta en tiempo real [1, 2].

### 1.1 Modelos de dispersión atmosférica

De acuerdo con Dandrieux [2], los modelos de dispersión pueden ser clasificados en tres categorías que son, en orden creciente de complejidad, los modelos gaussianos, los modelos de caja y los modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD). El tipo de modelo apropiado para un uso particular depende de la magnitud del problema, del nivel de detalle de la información disponible como entrada al modelo, del nivel de descripción pretendido a la salida del modelo y del tiempo disponible de espera para concluir los cálculos del modelo [3, 4].

Los modelos gaussianos y de caja son ampliamente utilizados en los procedimientos de análisis de riesgos, proporcionando estimaciones rápidas de la dispersión. Sus resultados son generalmente confiables en la descripción del comportamiento de una nube tóxica que se transporta sobre un terreno plano y sin obstáculos. Sin embargo, el hecho de que se represente al terreno como un nivel y no se tenga en cuenta los efectos de las edificaciones y otros obstáculos, condiciona los resultados y consecuentemente su aplicación. Por otra parte, una limitación importante que suelen tener los modelos simples para su aplicación en situaciones reales de emergencia, es su estado estacionario. Esta suposición, si bien permite simplificar enormemente los cálculos, conlleva el problema de no contemplar perturbaciones tales como cambios en la dirección y magnitud del viento durante la ejecución, y la aparición de nuevas fuentes de emisión [5-8].

Los avances en la velocidad de las computadoras modernas, y en las técnicas CFD, han impulsado el estudio de problemas ambientales complejos con modelos CFD. Los resultados obtenidos por estos modelos son más precisos que los modelos gaussianos y los de caja, ya que la velocidad del viento es completamente resuelta en comparación con los modelos más simplificados, donde la velocidad es un valor único o una función de la altura. La diferencia en los resultados se hace más obvia en aquellas zonas de estudio con grandes obstáculos [9, 10]. Por tal condición, en lo que respecta a emergencias químicas, los CFD constituyen una excelente herramienta para la planificación de respuesta en zonas densamente edificadas.

De todos modos, los CFD, que como bien mencionamos tienen una gran capacidad descriptiva de los escenarios con una muy buena aproximación, no sólo poseen un elevado grado de complejidad sino que además demandan un gran costo computacional, requieren de numerosos datos y de un tiempo grande de ejecución, por lo que su aplicación para el manejo de emergencias en tiempo real, no resulta factible [11, 12].

Dos estudios comparativos realizados por Hanna et al. [13, 14], concluyeron que las predicciones de FLACS (FLame ACceleration Simulator) son coherentes con las predicciones de los modelos de dispersión ampliamente usados, en escenarios con terreno plano, sin obstáculos y sin cambios en la magnitud y dirección del viento. En aquellas situaciones donde los escenarios presentan alguna complejidad que se aleja de las mencionadas, la predicción de los modelos más simples no representa adecuadamente la realidad. Una descripción más detallada de FLACS es presentada por Warner et al. y Hanna et al. [1, 15-17].

## 1.2 Modelado de la exposición humana

En un contexto de emergencia, la estimación del nivel de daño debido a la exposición a una nube tóxica generalmente no se incluye en los software más difundidos, o lo hacen de manera sencilla sin tener en cuenta la variación de la concentración en el tiempo. Acquesta et al. [18] realizaron un análisis de las técnicas utilizadas actualmente para calcular el nivel de daño y propusieron, en consecuencia, un método denominado DDC (Damage Differential Coupling), que no sólo supera las limitaciones de los métodos más utilizados, sino que además obtiene una estimación progresiva del daño experimentado, mientras se está expuesto a la nube tóxica. Por otra parte, con DDC es posible obtener una estimación minimal y otra maximal del nivel de daño esperado de la exposición.

Durante las emergencias hay una necesidad urgente de la sociedad para decidir rápidamente qué acciones tomar. En tales situaciones, los índices AEGLs, ERPGs y TEELs son muy útiles. Estos valores guía dan una información rápida de los daños potenciales, de la exposición a sustancias químicas específicas, en la población. DDC, por tratarse de un método aplicable a exposiciones agudas, utiliza los índices mencionados como plataforma [19-21]. Una descripción más detallada de DDC se presenta en [18].

## 2. ACOPLAMIENTO DE FLACS Y DDC

Quaranta et al. expresan en su trabajo [22] que un sistema robusto, capaz de predecir la dispersión atmosférica de sustancias químicas peligrosas, constituye una herramienta clave para apoyar decisiones en la planificación de respuesta a una emergencia, del mismo modo, para los equipos de preparación y rescate que deben actuar rápidamente en las áreas de impacto.

Los autores, coincidimos en la importancia de los modelos de transporte en la gestión integral de una emergencia. Sin embargo, aún cuando FLACS (u otro modelo CFD) pueda dar cuenta de los detalles del movimiento del flujo en forma más precisa que los modelos estándar ampliamente utilizados, este nivel de detalle en situaciones de emergencia resulta insuficiente si no se realiza un análisis conjunto con los aspectos toxicológicos de la población expuesta. En tal sentido, resulta fundamental lograr estimar dónde y cuándo los niveles guía (llámese AEGLs, ERPGs y/o TEELs) son superados.

Para este propósito, DDC toma como datos de entrada a los perfiles de concentración observados en cada celda del mallado, en el plano  $Z = 1$  m, donde  $Z$  es la altura sobre el nivel del terreno en la simulación de FLACS. Por medio del concepto de carga tóxica, el cuál relaciona dos factores que influyen conjuntamente a la toxicidad de la sustancia (concentración y tiempo de exposición), se determinan los efectos potenciales en la salud y, consecuentemente, DDC estima el nivel de daño potencial sobre la población expuesta a la nube tóxica.

En este artículo, se aplica esta nueva herramienta para la simulación de una liberación de cloro cerca del centro de Chicago, Estados Unidos. Con este ejemplo, se pretende analizar la importancia de esta herramienta para la planificación de respuesta a emergencias en ciudades. Reconocemos que una mejora en la planificación, estrechamente vinculada con sistemas de alarma temprana, contribuye sustantivamente a la mejora en la respuesta a una emergencia.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE SIMULACIÓN

En este trabajo, hemos tomado a Chicago como el escenario de estudio, ya que Hanna et al. [2], amablemente, nos han autorizado a utilizar sus datos y corridas. El lugar (N 41.860283, O 87.630733) fue escogido por ellos, por considerarse un nudo ferroviario importante, cerca del centro Chicago y nosotros respaldamos el criterio de elección. El escenario de Chicago es un lugar real, pero la liberación es puramente hipotética. Este escenario, como puede apreciarse en la figura 1a y 1b, dispone de un terreno plano y abierto, entorno a la fuente de emisión, compuesto generalmente de hierbas, árboles y arbustos, y zonas de arena / grava. Dentro del escenario propuesto, se encuentra además el río Chicago, ubicado a unos 300 m al oeste de la fuente de emisión. Como situación, se presenta una fuga de cloro desde un tanque de un tren de carga, a través de un agujero de 10 cm de diámetro. La presión del tanque se asume de 689.48 KPa y la temperatura ambiente de 25 °C. Bajo las condiciones mencionadas, diferentes fórmulas de emisión han sido aplicadas al escenario, con el resultado de un rango de tasa de emisión de 150 a 250 kg/s. Para los propósitos del ejercicio y una adecuada representación de los resultados, se asume una tasa de liberación de 225 kg/s de cloro, durante 5 minutos. Más detalles del escenario de Chicago se pueden encontrar en el trabajo de Hanna et al. [2].

A los efectos de nuestro estudio se supone, para la simulación, condiciones atmosféricas muy estables y vientos ligeros, 3 m/s. Dos escenarios fueron estudiados: el *escenario 1* (ver fig. 1a), en el que la nube se transporta hacia el norte, rumbo a una región altamente edificada, caracterizada por edificios altos; y el *escenario 2* (ver fig. 1b), en el que la nube se transporta hacia el oeste a través de un área comercial/residencial. El escenario 1 se representa sobre un mallado de 5 km N-S por 2.5 km E-O, mientras que el escenario 2 sobre uno de 2 km N-S por 4.5 km E-O. Celdas de dimensiones de 6 m de ancho por 2 m de altura son consideradas cerca de la fuente al iniciarse la nube de cloro, sin embargo el volumen de las celdas se incrementa en la medida que nos alejamos de la fuente de emisión. Cabe mencionar que un mayor número de celdas son necesarias para el escenario 1 debido a que la nube encuentra a su paso una región densamente edificada con construcciones muy altas: 900000 celdas son usadas para el escenario 1, mientras que 450000 son necesarias para el escenario 2. La resolución temporal escogida para la simulación es de 30 s.

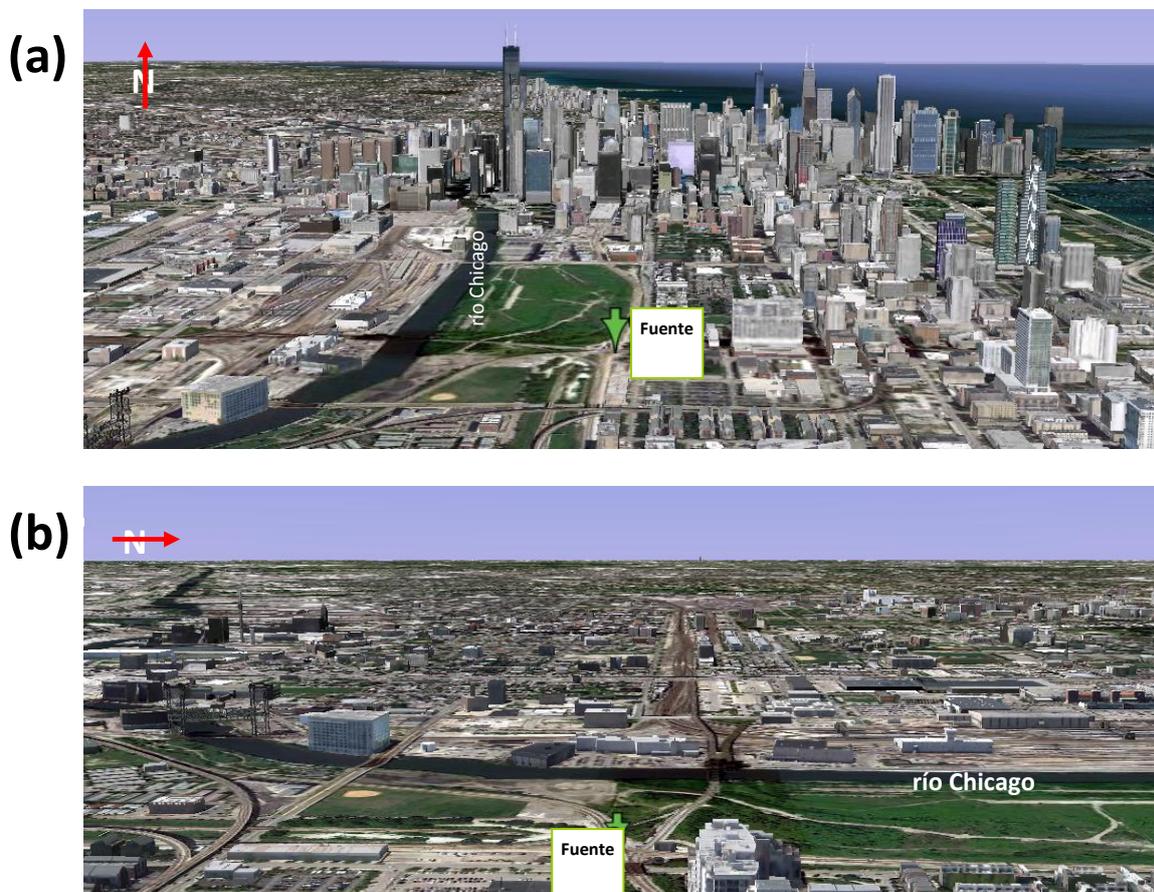


Figura 1: Vista satelital de los escenarios 1 (a) y 2 (b). En la primera se visualiza al nudo ferroviario con vista al norte. En la misma imagen se aprecia al río Chicago a la izquierda de la fuente, y la presencia de edificios altos hacia el norte. En (b) se visualiza al mismo nudo pero con vista al oeste. En esta imagen es apreciable el predominio de construcciones de baja altura y el río Chicago, transversal a la dirección del viento asumida en este escenario. Fuente: Google maps, 2011.

La especie química de interés en este artículo, es el cloro y su elección fue motivada por varias razones. En principio, el cloro es uno de los productos químicos más utilizados a nivel industrial, su reactividad puede complicar el transporte en la atmósfera y la dispersión desde la fuente, y además dada su densidad (2,5 veces más pesado que el aire) forma una nube densa que en su desplazamiento permanece cerca del suelo.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hanna et al. [2] presentan en su trabajo, representaciones tridimensionales de las simulaciones de FLACS para los escenarios propuestos. En las figuras 2 y 3 se muestran representaciones gráficas bidimensionales del acoplamiento FLACS-DDC correspondientes a los escenarios 2 y 3, respectivamente, para los tiempos de simulación de 1500 y 2000 s (escenario 1) y 1200 y 1600 s (escenario 2). Estas gráficas muestran las regiones limitadas por 0.31 ppm.

Los resultados de la simulación mostraron que, para el escenario 1, la nube de cloro se

desplaza a mayor velocidad y con menor dilución a través de un terreno plano y abierto, extendiéndose más de 1000 m desde la fuente de emisión en la dirección del viento, durante los primeros 400 s. Cuando la nube encuentra en su trayectoria al área edificada, su extensión a sotavento se ve limitada debido a que la mezcla turbulenta, característica de terrenos complejos y zonas con edificaciones altas, contribuye a la disminución de la concentración local (ver Fig. 2). Del mismo modo, en la Fig. 2, se observa que un volumen de gas queda atrapado al sudeste, entre los edificios altos, aún para tiempos avanzados de simulación.

Si bien la presencia del viento sur, en el escenario 1, puede sugerir un movimiento rectilíneo de la nube, el desplazamiento observado hacia la derecha en la Fig. 2, se corresponde con la presencia de edificios de menor talla al este, permitiendo que la nube siga su trayectoria con menor dilución sobre la región. Las regiones de daño, obviamente, reflejan esta situación restringiendo la extensión, de la mayor proporción del frente de la nube, a unos 2500 m a favor del viento (distancia a la cuál predominan los edificios de gran altura).

Para el escenario 2, como muestra la Fig. 3, la nube de cloro se extiende alrededor del 45% más que en el escenario 1. Esto ocurre porque la nube experimenta menos mezcla turbulenta, y en consecuencia una menor dilución, debida a las edificaciones de menor altura que encuentra en su trayectoria. Por otro lado, la simulación representa muy bien los efectos asociados al cauce del río Chicago mediante la extensión lateral de la nube. Esto último se señala en la gráfica de la región maximal en la Fig. 3, ya que es la imagen que mejor representa a la situación mencionada.

Para este escenario, la trayectoria de la nube se dirige al suroeste, probablemente debido a la pendiente natural del terreno, que por tratarse de una nube densa tiende a adoptar la topografía del terreno.

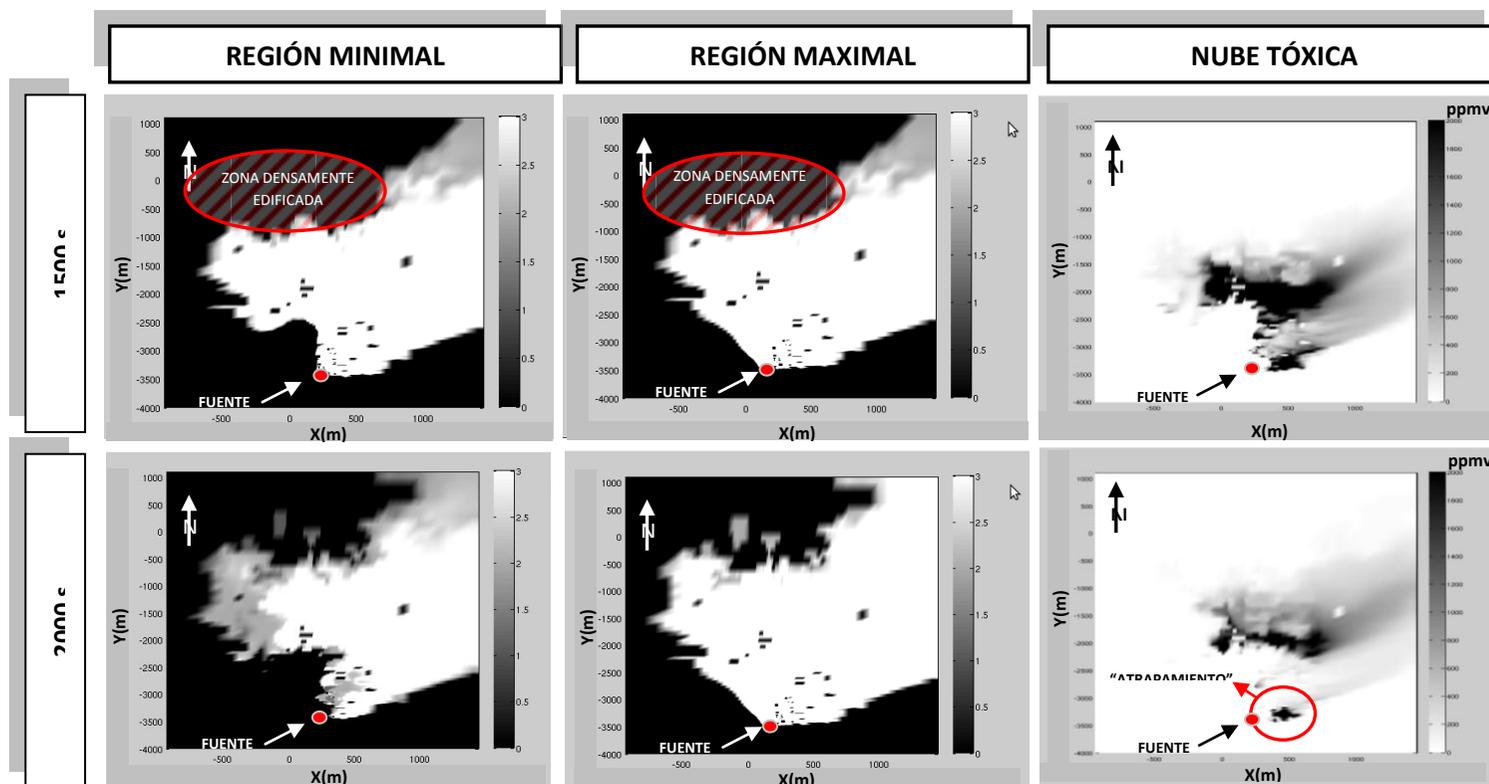


Figura 2: Representación de la evolución de la nube tóxica (tercera columna), y de las regiones de daño (Minimal: primera columna; Maximal: segunda columna), para el escenario 1 (viento sur), donde un contorno de 0.31 ppmv se muestra para  $t= 1500$  y  $2000$  s.

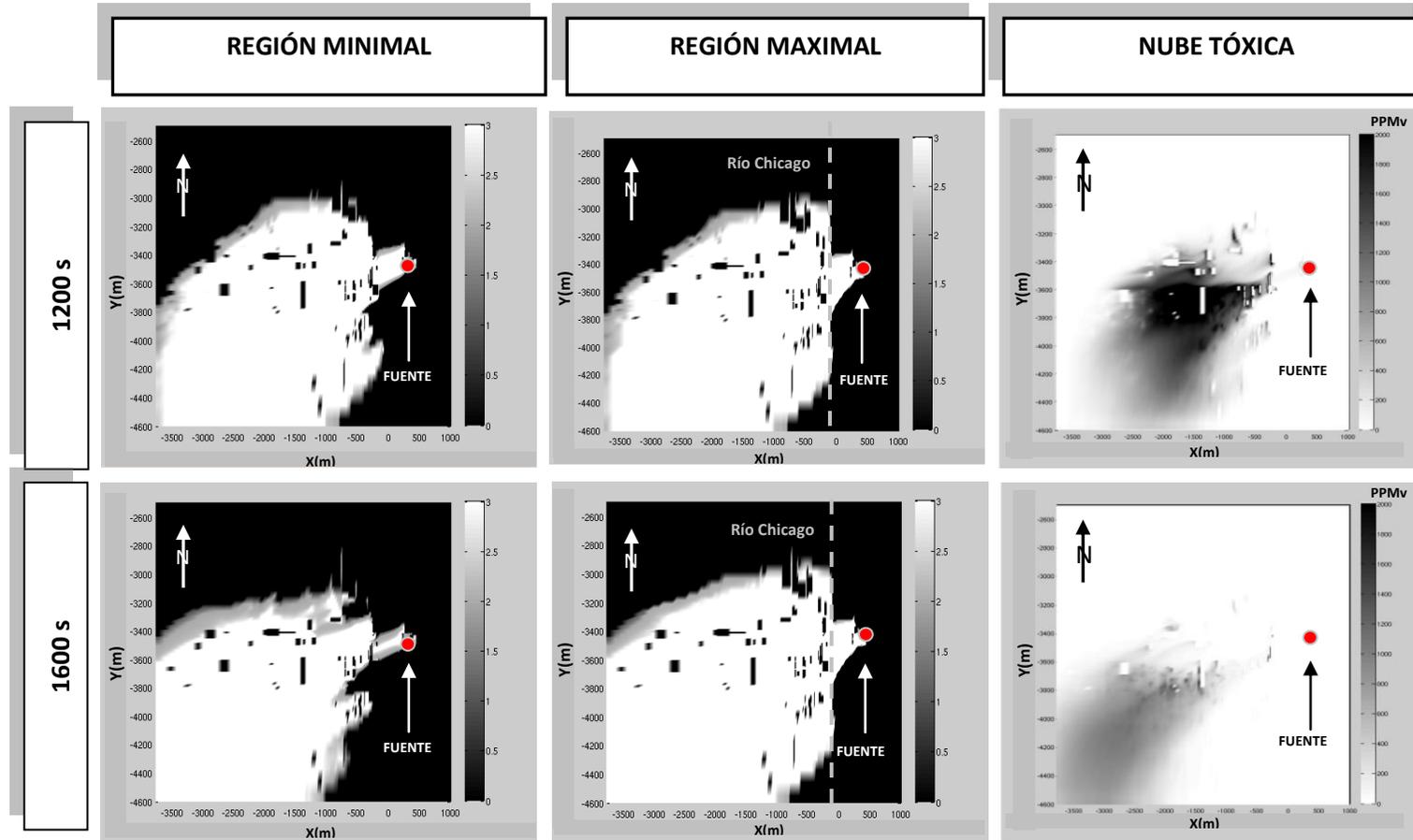


Figura 3: Representación de la evolución de la nube tóxica (tercera columna), y de las regiones de daño (Minimal: primera columna; Maximal: segunda columna), para el escenario 2 (viento este), donde un contorno de 0.31 ppmv se muestra para t= 1200 y 1600 s.

En todos los casos se puede observar una gran extensión del nivel correspondiente al mayor daño (color blanco), asociado a efectos graves en la salud, e incluso la muerte. Tal situación está relacionada con la magnitud de la liberación de cloro.

Las sombras rectangulares negras que se visualizan dentro de las regiones de daño, representan los edificios que no están cubiertos (sólo rodeado) por la nube tóxica. Esta diferencia es importante para la planificación y gestión de una emergencia, porque el conocimiento de la altura máxima alcanzada por la nube tóxica puede ayudar a tomar decisiones acertadas y oportunas, como sería el hecho de no evacuar los pisos superiores de un edificio, y por lo tanto ser capaces de utilizar de manera más eficiente los recursos disponibles. Análogamente, el conocimiento de la influencia de los obstáculos en la trayectoria de la nube tóxica, y en la dispersión de los contaminantes transportados, permite incluso la planificación de medidas de protección adicionales.

Las representaciones de las regiones minimal (primera columna) y maximal (segunda columna) permiten reconocer los valores extremos del daño esperado. El análisis de las representaciones de las regiones de daño, para ambos escenarios, permite concluir que la diferencia entre cotas se vuelve importante en función de la evolución de la nube.

Los resultados proporcionados demuestran que una simulación dinámica, usando un modelo CFD, pueden contribuir de modo relevante para evaluar la probabilidad de una emergencia con criterios toxicológicos adecuados. Los resultados obtenidos sustentan la hipótesis que el acoplamiento de FLACS-DDC representa una herramienta importante para la planificación de emergencias.

Cabe destacar que, frente a una emergencia, es importante contar con información detallada y actualizada de las zonas y de las poblaciones vulnerables, del uso y de la ocupación del terreno, de los factores meteorológicos y de las posibles fuentes de emisión. Del mismo modo, también resulta imprescindible contar con una herramienta metodológica que permita una adecuada combinación de dicha información para el estudio de los diferentes escenarios.

## **5. CONCLUSIONES**

Una descarga accidental de sustancias peligrosas puede exponer sorpresivamente a una población a niveles de concentración excepcionalmente elevados, con posibles consecuencias fatales. Con el fin de lograr una protección adecuada, es necesario contar con planes de respuesta rápida y procedimientos de evacuación, contribuyendo de esta forma a resolver la situación en el menor tiempo posible y a usar adecuadamente los recursos disponibles.

El acoplamiento de FLACS con DDC representa una herramienta poderosa para la planificación en la respuesta a una emergencia en ciudades, debido a su capacidad para describir el flujo en zonas densamente edificadas, su precisión para estimar el daño potencial en la población expuesta a través de una estimación minimal y otra maximal, y su versatilidad para utilizar diferentes índices de exposición aguda. Ofrece además la posibilidad de un monitoreo continuo con una estimación progresiva del daño y un enfoque más descriptivo que otras metodologías de uso corriente. Consideramos que estas ventajas son fundamentales para la gestión integral de emergencias, ya que permite una mejor comprensión de la situación y del tiempo disponible para la intervención oportuna.

Los resultados muestran cómo el desarrollo de la nube tóxica se ve influenciada por la distribución local de los edificios. La nube tóxica es transportada una gran distancia cuando el terreno es plano y hay menos mezcla turbulenta. Una vez que la nube alcanza la región

caracterizada por edificios altos, se diluye rápidamente. Las regiones de daño, obviamente, reflejan esta situación restringiendo su extensión a unos 2500 m en dirección del viento.

Por otra parte, los resultados muestran como entre edificios altos, concentraciones elevadas pueden perduran en el tiempo, aún cuando la nube ha pasado. Sin embargo, debido a las características del escenario propuesto, las regiones de daño no registran este “atrapamiento” ya que inicialmente se alcanza el máximo nivel. Cuando la intensidad de las emisiones son menores, esta contribución de FLACS no sólo es importante para la evaluación de daños, sino que también se refleja claramente en las representaciones de DDC.

Los resultados también muestran que la nube tóxica puede seguir el drenaje del terreno. Vale la pena señalar por último, que las simulaciones presentadas en este artículo, no han incluido a los efectos de los sumideros, por lo que las concentraciones previstas están probablemente sobreestimadas.

## REFERENCIAS

- [1] Warner S, Platt N, Urban JT, Heagy JF. Comparisons of transport and dispersion model predictions of the joint urban 2003 field experiment. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Vol 4, pp 1910–1928, (2008).
- [2] Hanna SR, Hansen OR, Ichard M, Strimaitis D. CFD model simulation of dispersion from chlorine railcar releases in industrial and urban areas. *Atmospheric Environment*. Vol 43, pp 262–270, (2009).
- [3] Dandrieux A, Dimbour JP, Dusserre G. Are dispersion models suitable for simulating small gaseous chlorine releases? *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol 19, pp683–689, (2006).
- [4] Beychok M. *Fundamentals of stack gas dispersion*. 3rd Ed. Irvine, CA, (1994).
- [5] Doury A. A design basis for the operational modelling of atmospheric dispersion. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol 1, pp 156–162 (1988).
- [6] Hanna SR, Drivas PJ. *Guidelines for the use of vapor cloud dispersion models*. (CCPS/AIChE, New York, NY), (1987).
- [7] Hanna SR, Strimaitis DG. *Workbook of test cases for vapor cloud source emission and dispersion models*. (CCPS/AIChE, New York, NY), (1988).
- [8] Reynolds RM. *ALOHA Theoretical Description; Draft Technical Memorandum NOS ORCA-65 Hazardous Materials Response and Assessment Division (HMRAD) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*: Seattle, WA, (1992).
- [9] Delaunay D. Numerical simulation of atmospheric dispersion in an urban site: Comparison with field data. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. Vol 64(2–3). pp 221–231, (1996).
- [10] Gavelli F, Bullister E, Kytomaa H. Application of CFD to LNG spills into geometrically complex environments. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 159(1), pp 158–168, (2008).
- [11] Long HJ, Zajaczkowski FJ, Haupt SE, Peltier LJ. Modeling a Hypothetical Chlorine Release on a College Campus. *Journal of Computers*. Vol 4 (9), pp 881-890, (2009).
- [12] Sklavounos S, Rigas F. Simulation of Coyote series trials – Part I: CFD estimation of non-isothermal LNG releases and comparisons with box-model predictions. *Chemical Engineering Science*. Vol 61, pp: 1434–1443, (2005).
- [13] Hanna SR, Dharmavaram S, Zhang J, Sykes I, Witlox H, Khajehnajafi S, Koslan K. Comparison of six widely-used dense gas dispersion models for three recent chlorine railcar accidents. *Process Safety Progress*. Vol 27, pp 248–259, (2008).

- [14] Hanna SR, Chang JC, Strimaitis DG. Hazardous gas model evaluation with field observations. *Atmospheric Environmental*. Vol 27A, pp 2265–2285, (1993).
- [15] Hanna SR, Hansen OR, Dharmavaram S. *FLACS* CFD air quality model performance evaluation with Kit Fox, MUST, Prairie Grass, and EMU observations. *Atmospheric Environment*. Vol 38(28), pp 4675–4687, (2004).
- [16] GexCon US. CFD Validation. Disponible desde: [http://gexconus.com/CFD\\_validation](http://gexconus.com/CFD_validation), accedido en Junio de 2011.
- [17] Hanna SR, Hansen OR, Dharmavaram S. Evaluation of *FLACS* CFD model with MUST data. AMS meeting. Vancouver, Canada: 13.3, (2004).
- [18] Acquesta AD, Sánchez EY, Porta A, Jacovkis PM. A method for computing the damage level due to the exposure to an airborne chemical with a time-varying concentration. *Risk Analysis*. 31: no. doi: 10.1111/j.1539-6924.2011.01594.x, (2011).
- [19] AEGl, Acute Exposure Guideline Levels Program, (2008) U.S., Environmental Protection Agency, disponible de: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/>, accedido en junio de 2011.
- [20] American Industrial Hygiene Association. Emergency Response Planning (ERP) and Workplace Environmental Exposure Level (WEEL) Committees. Emergency Response Planning Guidelines (ERPG) & Workplace Environmental Exposure Levels (WEEL) Handbook. Washington, DC: AIHA, (2007).
- [21] Craig DK, Davis JS, Hansen DJ, Petrocchi AJ, Powell TJ, Jr. Tuccinardi TE. Derivation of temporary emergency exposure limits (TEELs). *Journal of Applied Toxicology*. Vol 20, pp 11–20, (2000).
- [22] Quaranta N, DeMartini A, Bellasio R, Bianconi R, Marioni M. A decision support system for the simulation of industrial accidents. *Environmental Modelling and Software*. Vol 17, pp 497–504, (2002).



## ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE ACIDIFICACIÓN EN ARGENTINA A TRAVÉS DE MODELADO.

Allende, David G.<sup>1\*</sup>; Civit, Bárbara M.<sup>2</sup>, Puliafito, Salvador E.<sup>1</sup> y Oliva, Andrea<sup>2</sup>

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273 (5500) Mendoza, Argentina  
e-mail: david.allende@frm.utn.edu.ar, epuliafito@frm.utn.edu.ar  
web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

2: Grupo CLIOPE  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273 (5500) Mendoza, Argentina  
e-mail: bcivit@frm.utn.edu.ar

**Palabras clave:** Acidificación, modelo WRF/Chem, modelo WMI, emisiones acidificantes, cargas críticas.

**Resumen.** *El proceso de acidificación de suelos es un problema ambiental claramente reconocido. Las emisiones de sustancias acidificantes como SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y NH<sub>3</sub> pueden provenir de diversas fuentes naturales, como erupciones volcánicas, o antrópicas originadas en el sector industrial, residencial o de transporte. Esas sustancias, una vez en la atmósfera, viajan antes de depositarse como contaminantes primarios o como contaminantes secundarios luego de diversas reacciones. El impacto que esa deposición puede causar sobre los distintos ecosistemas terrestres dependerá de la magnitud de la cantidad depositada y de las características del lugar donde se depositen. La diversidad de ecosistemas que presenta el territorio argentino impulsa conocer el impacto que se produce como consecuencia de la deposición de sustancias acidificantes por regiones biogeográficas. Para ello, se utilizaron los inventarios de emisión globales EDGAR con el objeto de alimentar el modelo de mesoescala WRF/Chem y cuantificar la deposición ácida sobre todo el territorio. Asimismo, estos resultados se compararon con las salidas generadas por el modelo Windrose Model Interpreter (WMI) herramienta ampliamente utilizada para la determinación de emisiones y deposiciones acidificantes y eutroficantes. Estos resultados fueron posteriormente incorporados a un modelo de caracterización que determina factores de acidificación considerando una relación lineal entre el efecto y la cantidad en exceso sobre la capacidad amortiguadora del suelo.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de deposición ácida en suelos, tanto en la forma de lluvia, nieve, niebla, o material particulado ha sido por décadas un problema ambiental muy estudiado en diferentes sitios de Europa, América del Norte y Asia. Los procesos por los cuales se produce deposición ácida y los daños relacionados a gases y partículas acidificantes se han tratado ampliamente en la literatura [1-3]. La deposición ácida puede producir la acidificación de

cuerpos de agua como lagos, ríos, mares, o la acidificación de suelos. En el último caso, se produce por liberación de protones hidrógeno ( $H^+$ ) e intercambio entre cationes de calcio (Ca) y magnesio (Mg), y la alteración del sustrato por acumulación de azufre (S) y nitrógeno (N) y movilización de concentraciones elevadas de aluminio inorgánico (Al) a solución en suelos sensibles, generando la posible disminución o pérdida de especies vegetales. La deposición suele ocurrir en las cercanías de la fuente emisora o a cientos de kilómetros de la misma, dependiendo de las características de la sustancia y de su capacidad para combinarse en la atmósfera y desplazarse por ella. Por otra parte, dado que los contaminantes emitidos son fuente de material particulado secundario, a través de la formación de aerosoles como sulfato y nitrato de amonio, es posible que exista daño en ecosistemas ubicados en regiones remotas de las fuentes.

La necesidad de protección de ecosistemas ha llevado a la generación de políticas con el objeto de reducir emisiones de gases contaminantes (e.g. Paulowski [4], Mensik y Beirens [5], van der Kooij [6]). Estos acuerdos establecen objetivos de reducción de emisiones de dióxido de azufre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ) para un año base (2010). De acuerdo con el inventario global de emisiones EDGAR [7], en el año 2005 para la Argentina, el total de gases acidificantes emitidos fue de  $5,17 \times 10^5$  toneladas de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ),  $5,23 \times 10^5$  toneladas de amoníaco ( $NH_3$ ), y  $2,28 \times 10^5$  toneladas de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) siguiendo una tendencia creciente en el tiempo, excepto para caso del  $SO_2$  que muestra un marcado descenso con los años.

Existe gran diversidad de ecosistemas en el territorio argentino, por lo que resulta de gran interés conocer el posible impacto que se produciría como consecuencia de la deposición de sustancias acidificantes por regiones biogeográficas.

En la actualidad se encuentran disponibles varios Modelos de Transporte Químico capaces de simular la deposición ácida, como un proceso físico de difusión o captura de contaminantes hacia la superficie terrestre o detenido por la vegetación o el suelo. En este trabajo se considera la aplicación de los modelos Windrose Model Interpreter (WMI) [8] y Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF/Chem) [9] para investigar la distribución de la deposición ácida de  $SO_2$ ,  $NO_x$  y  $NH_3$  en Argentina utilizando un inventario de emisiones del año 2005.

## 2. FUENTES DE DATOS Y METODOLOGÍA DE MODELADO

### 2.1. Inventario de emisiones

El inventario de emisiones utilizado en este estudio es la Emissions Database for Global Atmospheric Research EDGAR (versión 4.0) [7], disponible en línea en <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/> y que posee emisiones globales y también discriminadas por país, grilladas en resolución de 0,1 grados (alrededor de 10 km) de gases de efecto invernadero, precursores de ozono y sustancias acidificantes. Las emisiones de EDGAR han sido calculadas sobre la base de factores de emisión y proporciona estimaciones independientes de emisiones antrópicas y tendencias, basadas en estadísticas públicas, para su uso en modelos atmosféricos y evaluación de políticas ambientales. Las emisiones grilladas se usaron directamente y sin tratamiento previo, como entrada a los modelos de calidad de aire.

## 2.2. Modelos de Transporte Químico

Los Modelos de Transporte Químico usados en este estudio fueron Weather Research and Forecasting model with Chemistry (WRF/Chem) y Windrose Model Interpreter (WMI). WRF/Chem [9,10] es un modelo meteorológico no hidrostático que resuelve en una escala regional las ecuaciones primitivas dinámicas considerando la conservación de los flujos escalares y de masa a partir de condiciones iniciales y de contorno obtenidas de un modelo de circulación global. Este modelo está acoplado en forma “on line” a un módulo químico de transporte que permite, con una amplia gama de parametrizaciones físicas y químicas, simular variaciones espacio-temporales de la distribución de contaminantes primarios, secundarios, su transformación y deposición, considerando la estrecha relación entre química y meteorología [11]. Este modelo constituye actualmente el estado del arte en sistemas de modelado para química y aerosoles atmosféricos y que puede ser utilizado en escalas regionales y locales.

El WMI es un modelo lagrangiano, receptor-orientado y de tipo rosa de los vientos en 24 sectores, en el que el comportamiento de los contaminantes se describe usando una representación a largo plazo de los procesos relevantes de emisión, dispersión, transformaciones fisicoquímicas y deposición. El modelo suma los resultados de las 24 trayectorias que arriban al proceso, ponderadas por las frecuencias de los vientos en cada sector, siendo cada una seguida durante 96 horas antes de llegar a cada sitio receptor. El modelo WMI es del tipo climatológico, lo que implica que todos los datos y consecuentemente los resultados, son valores promedios anuales. WMI es uno de los modelos recomendado para el cálculo de la deposición de sustancias acidificantes por expertos en la temática porque permite obtener valores de deposición para escalas regionales (50-150 km de la fuente) mientras que los tradicionales modelos gaussianos, tienen un rango de distancia mucho más reducido, con precisión para la escala local, y la acidificación es un problema ambiental regional [13].

## 2.3. Aproximaciones de modelado

El dominio de modelado abarca completamente el territorio argentino, entre los 74° W y 53° W de longitud y 22° S y 54°S de latitud, con una resolución de grilla de 0,1° de latitud y longitud (aproximadamente 11 km).

El modelo WRF fue configurado con un único dominio con una resolución espacial de 10 km y 27 niveles verticales de presión hasta 50 hPa, centrado en 38,75°S y 63,75° W. WRF se configuró para adaptarse al dominio local introduciendo datos estáticos en una resolución mucho más adecuada que la incluida por defecto en el modelo. En tal sentido, los más recientes datos de uso de suelo en resolución de 250 m provenientes de GLOBCOVER 2009 [14] fueron incluidos para mejorar la caracterización del dominio. El modelo fue corrido con condiciones iniciales y de contorno del modelo de circulación global GFS (Global Forecast System) del National Center for Environmental Prediction (NCEP) con resolución de 1° x 1° en intervalos 6 horas. El modelo se configuró con el esquema de microfísica de Lin et al., el esquema de superficie NOAH con 4 capas, el modelo Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) para considerar radiación de onda larga y el esquema de Dudhia para radiación de onda corta. Asimismo, para la consideración de nubes convectivas, se utilizó la parametrización de cúmulos de Kain-Fritsch. Las parametrizaciones químicas incluyen la selección de los mecanismos RADM2 y el cálculo de constantes de fotólisis tipo Fast-J. Mayores detalles de la parametrizaciones físicas de

WRF pueden encontrarse en Michalakes et al., [15]. Se generó una salida con un promedio de flujos de deposición de tres meses.

El mismo dominio de modelado se utilizó para el modelo WMI. Los datos meteorológicos fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional para 75 estaciones meteorológicas en todo el territorio argentino. Se consignaron datos de precipitaciones, velocidad y dirección de viento, temperatura y humedad. En ambos casos se obtuvieron resultados para  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$ , obteniéndose valores de deposición en  $\text{kg/ha m}^2$ .

#### 2.4. Cálculo del impacto en acidificación

Con la finalidad de conocer el posible impacto de la deposición ácida, se consideran las características del receptor de esa deposición: el suelo. El efecto de acidificación estará determinado por la capacidad que tiene el suelo de amortiguar la deposición ácida, es decir, la carga crítica. Se define específicamente como carga crítica (CC) a la máxima deposición de sustancia acidificante, por encima de la cual se observan efectos dañinos sobre el suelo, de acuerdo al conocimiento actual [16]. Este concepto surge del balance entre el flujo depositado sobre un ecosistema con su capacidad a largo plazo de amortiguar esa entrada o removerla sin efectos dañinos [17]. En consecuencia, en el caso en que la deposición supere la carga crítica, se produciría acidificación.

Para la inclusión de información de suelos detallada, se utiliza un Mapa de Suelos de la Argentina, obtenido de la Soil and Terrain Database for Latin America, versión 2.0 [18]. Este mapa de referencia tiene una escala de 1:5000000 y ha sido confeccionado de acuerdo a la clasificación de suelos Soil Taxonomy 1975. Como se detalla más extensamente en Civit, [19] para la determinación de las cargas críticas se utilizó la clasificación de sensibilidad de ecosistemas de Cinderby et al. [20], basada en la capacidad amortiguante del suelo a través de la Saturación de Bases y la Capacidad de Intercambio Catiónico, dividiendo a los suelos en 5 clases de sensibilidad. Cada clase de sensibilidad tiene asociada una carga crítica, por debajo de la cual no se produce daño por acidificación (ver Tabla 1 y Figura 1).

Clase de sensibilidad	Carga crítica ( $\text{meq m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ )
1 más sensible	25
2	50
3	100
4	200
5 insensible	>200 (sin carga crítica)

Tabla 1. Clase de sensibilidad y carga crítica asociada, de acuerdo a Cinderby et al. [20].

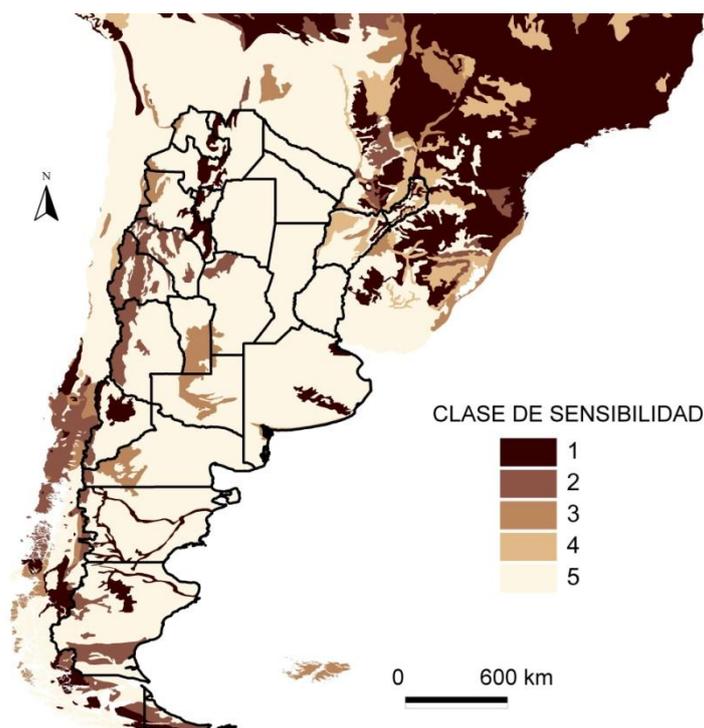


Figura 1. Mapa de Provincias argentinas y clases de sensibilidad en suelos.

### 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los flujos de deposición ácida calculados con ambos modelos se resumen en la Tabla 2. En la misma tabla, se comparan otros datos presentes en la literatura. Si bien existe un amplio rango de velocidades de deposición, dependiendo del tipo de fuentes y el ambiente receptor, los valores obtenidos parecen ser razonables para cada zona simulada en Argentina debido a las fuentes emisoras presentes.

	Windrose Model Interpreter			WRF/Chem			Estudios previos [Referencias]
	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Promedios
kg NO <sub>x</sub> /ha año	30,1	26,2	0,0	49,8	24,6	0,3	6.1 [21]; 15.6 [22]; 27.6 [23]
kg SO <sub>2</sub> /ha año	898,7	1,4	0,0	266,3	1,3	0,3	7.2 [21]; 3.8 [24]; 0.7 [25]

Tabla 2. Comparación de velocidades de deposición obtenidas en este trabajo y las obtenidas en varios sitios.

La Figura 2 muestra la comparación de la salida de ambos modelos para deposición ácida de NO<sub>x</sub>, en kg/ha año.

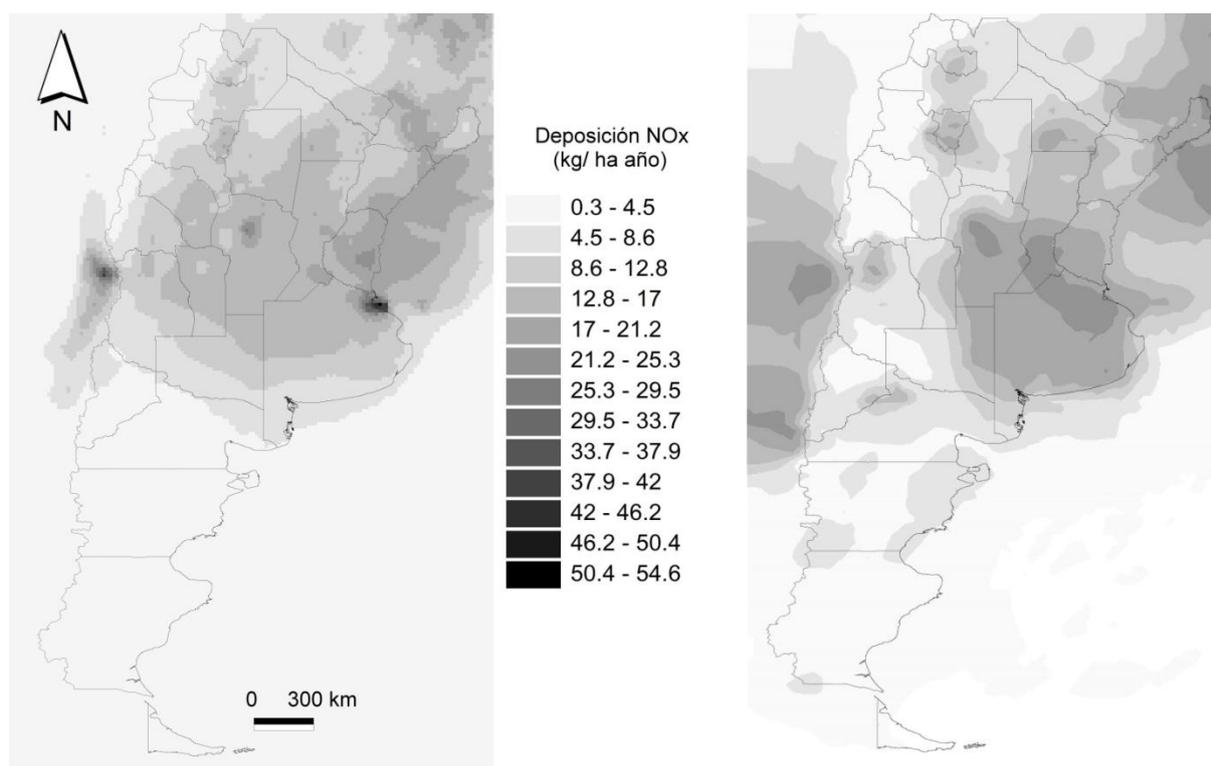


Figura 2. Deposición ácida de NO<sub>x</sub>, en kg/ ha año, para el modelo WRF (izquierda) y el modelo WMI (derecha).

Puede verse en la Figura, que en términos generales ambos modelos predicen valores similares en todas las provincias. Las diferencias se presentan fundamentalmente, cerca de los grandes centros urbanos, donde WRF/Chem predice valores altos en las cercanías de grandes áreas pobladas y WMI valores mucho mayores, pero en zonas muy puntuales. Las salidas de ambos modelos muestran resultados similares también para el resto de los compuestos modelados. Para el análisis de los efectos se mostrarán exclusivamente los resultados de la modelación con WRF/Chem, debido a la similitud de las deposiciones ácidas calculadas con ambos modelos.

Las deposiciones de todas las sustancias acidificantes se expresaron como promedios para todos los ecosistemas en las celdas grilladas que cubren toda la Argentina, convertidas a meqH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup> año (ver Figura 3, para WRF/Chem).

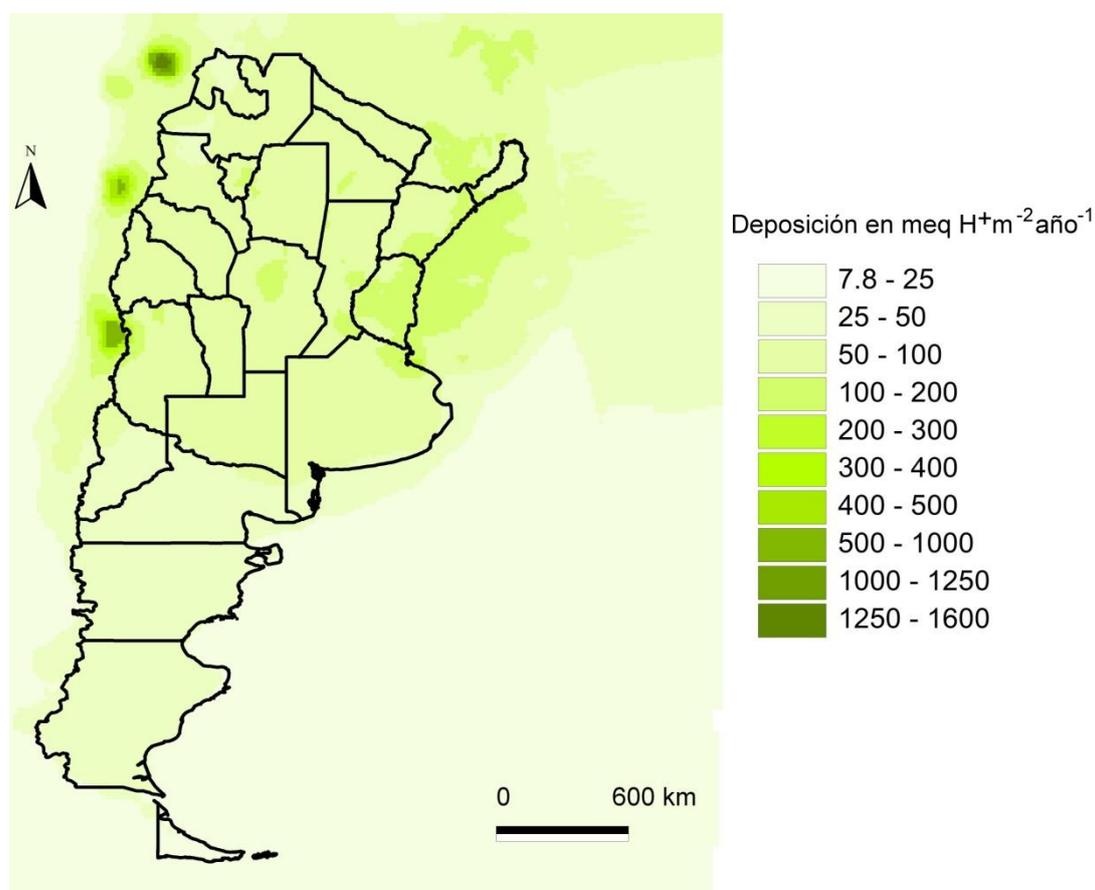


Figura 3. Deposición promedio de sustancias acidificantes calculadas con el modelo WRF/Chem, expresadas en meqH<sup>+</sup>/m<sup>2</sup> año, para todas las sustancias depositadas, con emisiones del año 2005.

Finalmente, las cargas críticas se compararon contra los flujos de deposición totales con el objeto de estimar las cantidades depositadas en exceso (es decir, por encima de la carga crítica).

La Figura 4 muestra para la República Argentina, destacadas en color oscuro, las zonas en las que la deposición total es mayor a la carga crítica, es decir, donde existe un exceso no neutralizado de acidez sobre el suelo. Puede verse que en algunas regiones del país, este problema es más relevante, particularmente hacia el Oeste de la República Argentina, en las provincias de Neuquén, Mendoza San Juan y La Rioja. Asimismo, en algunas zonas de las provincias de Catamarca, Tucumán; La Rioja Misiones, Buenos Aires, Chubut y Santa Cruz existen áreas donde existe el riesgo de acidificación.

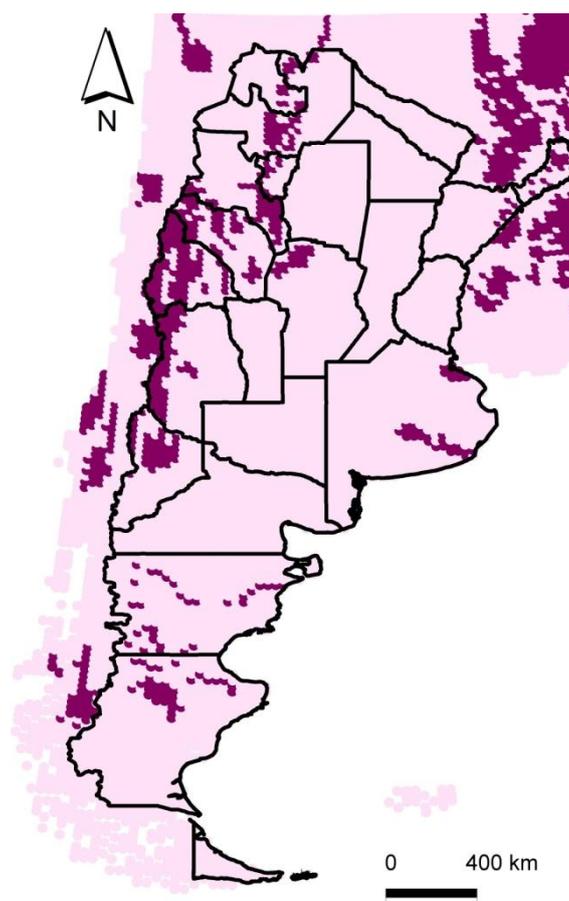


Figura 4. Provincias argentinas y áreas con deposición ácida por encima de la carga crítica, en color más oscuro.

Los gases acidificantes más relevantes son el  $\text{NO}_x$  y el  $\text{NH}_3$ , ya que sus emisiones provienen de fuentes distribuidas en gran parte del territorio argentino, no solamente en centros urbanos, sino también en zonas rurales, producto de las actividades agropecuarias y emisiones directas e indirectas del suelo. Los valores de deposición obtenidos, calculados de acuerdo a las condiciones y emisiones correspondientes al año 2005, muestran que la acidificación terrestre puede ser un problema relevante. Si bien las emisiones de  $\text{SO}_2$  muestran marcadas tendencias decrecientes para la Argentina, tanto el  $\text{NH}_3$  como los  $\text{NO}_x$ , presentan tendencias crecientes leves, mayormente conducidas por las prácticas agrícolas, en el caso del  $\text{NH}_3$  (un 43% del total emitido), y debido al transporte carretero para los  $\text{NO}_x$  (40% del total) [7]. En ausencia de un control de emisiones, las actividades agrícolas (emisiones directas e indirectas del suelo, emisiones por manejo de estiércol y quema de biomasa), potencialmente se convertirían en la mayor fuente de gases acidificantes, particularmente en el centro del país.

La implementación de los modelos WRF/Chem y WMI, aunque ambos poseen complejidades y formulaciones muy diferentes, generó resultados similares para los tres gases modelados.

Persisten, sin embargo, algunas incertidumbres en las estimaciones de las cargas críticas y el cálculo de las deposiciones ácidas, por lo que existe la necesidad de la mejora de la precisión de ambos modelos empleados. Sin embargo, la aproximación utilizada en este trabajo se destaca por su simplicidad y es aceptable para la identificación de áreas donde es más posible

la excedencia sobre las cargas críticas.

## REFERENCIAS

- [1] H. Ahokas, "Acidification of forest top soils in 60 years to the southwest of Helsinki," *Forest Ecology and Management*, vol. 94, no. 1-3, pp. 187-193, (1997).
- [2] G. B. Lawrence, "Persistent episodic acidification of streams linked to acid rain effects on soil," *Atmospheric Environment*, vol. 36, no. 10, pp. 1589-1598, (2002).
- [3] M. Gasiorowski and E. Sienkiewicz, "20th century acidification and warming as recorded in two alpine lakes in the Tatra Mountains (South Poland, Europe)," *Science of The Total Environment*, vol. 408, no. 5, pp. 1091-1101, (2010).
- [4] L. Pawlowski, "Acidification: its impact on the environment and mitigation strategies," *Ecological Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 271-288, (1997).
- [5] C. Mensink and F. Beirens, "Emission reduction scenarios for nitrogen compounds and their impact on acidification, eutrophication and ozone formation in Flanders," *Environmental Pollution*, vol. 102, no. 1, Supplement 1, pp. 641-647, (1998).
- [6] J. van der Kooij, "NO<sub>x</sub> emission abatement in EU power stations: results and response to the acidification strategy," *Environmental Pollution*, vol. 102, no. 1, Supplement 1, pp. 677-683, (1998).
- [7] J. G. J. Olivier and J. J. M. Berdowski, "Global emissions sources and sinks," in Berdowski, J., Guicherit, R. and B.J. Heij (eds.) *"The Climate System,"* Lisse, The Netherlands.: A.A. Balkema Publishers/Swets & Zeitlinger Publishers, , pp. 33-78, (2001).
- [8] A. Trunkenmüller, Using WMI: Implementing atmospheric trajectory models with the Wind rose Model Interpreter. (1998).
- [9] G. A. Grell et al., "Fully coupled online chemistry within the WRF model," *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 37, pp. 6957-6975, (2005).
- [10] G. A. Grell et al., "Fully coupled 'online' chemistry within the WRF model," *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 37, pp. 6957-6975, Dec. (2005).
- [11] S. E. Peckham, G. A. Grell, S. A. Mckeen, R. C. Easter, and E. Chapman, "User 's Guide Contributors," *Atmospheric Research*, no. July, (2009).
- [12] X. Tie, F. Geng, L. Peng, W. Gao, and C. Zhao, "Measurement and modeling of O<sub>3</sub> variability in Shanghai, China: Application of the WRF-Chem model," *Atmospheric Environment*, vol. 43, no. 28, pp. 4289-4302, Sep. (2009).
- [13] A. Trunkenmüller and F. R., "Die Abbildung der grossräumigen Verteilung, chemischen Umwandlung und Deposition von Luftschadstoffen mit dem Trajektorienmodell WTM," *Jahresbericht 1995*, pp. 93-108, (1995).
- [14] O. Arino, J. Ramos, V. Kalogirou, P. Defoumy, and F. Achard, "GlobCover 2009," in *ESA Living Planet Symposium*, 2010, p. 686, (2009).
- [15] J. Michalakes et al., "The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance." (2004).
- [16] J.-P. Hettelingh, M. Posch, P. A. M. De Smet, and R. J. Downing, "The use of critical loads in emission reduction agreements in Europe," *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 85, no. 4, pp. 2381-2388, (1995).
- [17] J.-P. Hettelingh, M. Posch, and P. A. M. De Smet, "Multi-Effect Critical Loads Used in

- Multi-Pollutant Reduction Agreements in Europe,” *Water, Air & Soil Pollution*, vol. 130, no. 1, pp. 1133-1138, (2001).
- [18] K. Dijkshoorn, J. Huting, and P. Tempel, Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean (SOTERLAC). Wageningen:, pp. 1-25, (2005).
- [19] B. M. Civit, “Sostenibilidad Ambiental. Desarrollo de Indicadores para su aplicación en estudios de Análisis de Ciclo de Vida que se lleven a cabo en la región árida del centro oeste argentino.” Universidad Nacional de Cuyo, (2009).
- [20] S. Cinderby, H. M. Cambridge, R. Herrera, W. K. Hicks, F. Kuylenstierna, J.C.I. Murray, and K. Olbrich, “Global assessment of ecosystem sensitivity to acid deposition”. Stockholm, Sweden. , p. 19,(1998).
- [21] C. Anatolaki and R. Tsitouridou, “Atmospheric deposition of nitrogen, sulfur and chloride in Thessaloniki, Greece,” *Atmospheric Research*, vol. 85, no. 3-4, pp. 413-428, (2007).
- [22] H. V. Andersen and M. F. Hovmand, “Review of dry deposition measurements of ammonia and nitric acid to forest,” *Forest Ecology and Management*, vol. 114, no. 1, pp. 5-18, (1999).
- [23] J. L. Shen, A. H. Tang, X. J. Liu, A. Fangmeier, K. T. W. Goulding, and F. S. Zhang, “High concentrations and dry deposition of reactive nitrogen species at two sites in the North China Plain,” *Environmental Pollution*, vol. 157, no. 11, pp. 3106-3113, (2009).
- [24] F. Zimmermann, K. Plessow, R. Queck, C. Bernhofer, and J. Matschullat, “Atmospheric N- and S-fluxes to a spruce forest--Comparison of inferential modelling and the throughfall method,” *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 25, pp. 4782-4796, (2006).
- [25] G. M. Lovett, J. J. Bowser, and E. S. Edgerton, “Atmospheric deposition to watersheds in complex terrain,” *Hydrological Processes*, vol. 11, no. 7, pp. 645-654, (1997).

## ESPECIACIÓN QUÍMICA DE EMISIONES PARA SU INCLUSIÓN EN WRF/CHEM

Castro, Fernando<sup>1\*</sup>; Fernandez, Rafael<sup>1,2</sup>; Allende, David<sup>1</sup> y Cremades, Pablo<sup>1</sup>

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273, Mendoza

e-mail: ferhcastro@gmail.com; david.allende@frm.utn.edu.ar; pablocremades@gmail.com

2: Instituto de Ciencias Básicas  
Universidad Nacional de Cuyo  
e-mail: rafapedro@gmail.com

**Palabras clave:** especiación química, emisiones, WRF/Chem, RADM2

**Resumen.** *Los Modelos de Calidad del Aire (MCA) se han convertido en herramientas esenciales para entender la interacción entre meteorología, emisiones y química atmosférica. Las capacidades y desempeño de estos MCA han sido mejorados sustancialmente en años recientes y existe una clara tendencia hacia aplicaciones que incluyen dominios de modelado más extensos, mayores resoluciones de grilla y la inclusión de complejos fenómenos químicos. Los mecanismos químicos (ej. RADM2, CB4, SAPRC-99, incluidos en algunos MCA como WRF/Chem, contienen una serie de ecuaciones simplificadas que utilizan “especies modelo” para representar la química atmosférica. Los inventarios de emisión que, en general, se construyen para una variedad de compuestos y clases químicas deben convertirse en las “especies modelo” requeridas en los MCA por medio de perfiles de especiación. Sin embargo, estas especies no se corresponden entre los distintos mecanismos químicos existentes por lo que es difícil re-procesar las emisiones si el mecanismo elegido en el MCA se cambia. En este trabajo se ha desarrollado una metodología para la especiación química de las emisiones vehiculares de la ciudad de Mendoza según diferentes mecanismos químicos y su adaptación al formato requerido por el preprocesador de emisiones de WRF/Chem denominado emis\_v03. Dicha metodología se ha aplicado a fin de obtener la especiación de las emisiones para el año 2006 según el mecanismo químico RADM2.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los Modelos de Calidad del Aire (MCA) se han convertido en herramientas esenciales para entender la interacción entre meteorología, emisiones y química atmosférica. Las capacidades y desempeño de estos MCA han sido mejorados sustancialmente en años recientes y existe una clara tendencia hacia aplicaciones que incluyen dominios de modelado más extensos, mayores resoluciones de grilla y la inclusión de complejos fenómenos químicos.

Estas tendencias se traducen también a los inventarios de emisión necesarios para alimentar estos mejorados MCA. Es decir, los inventarios de emisión deben ser adaptados

a los requerimientos de resolución espacio temporal y especiación química de los MCA. La química atmosférica es modelada por medio de mecanismos químicos que representan las reacciones en fase gaseosa que se producen en la atmósfera. Debido al gran número de componentes emitidos y formados en la tropósfera, y a las reacciones que ellos y sus productos de reacción pueden sufrir, estos mecanismos contienen necesariamente simplificaciones y aproximaciones significativas. Además, estos mecanismos contienen asunciones y extrapolaciones para representar procesos de que aún no se conocen lo suficiente. Es así que surgen distintos mecanismos químicos dependiendo de los diferentes enfoques utilizados para simplificar la inherente complejidad de la química atmosférica y sus áreas de mayor incertidumbre. Entre los más conocidos mecanismos químicos se encuentran CBIV [1], SAPRC-99 [2] and RADM-2 [3] y sus respectivas actualizaciones CBV, SAPRC-07 RACM.

Los mecanismos contienen una serie de ecuaciones simplificadas que utilizan “especies modelo” para simular la química atmosférica [4]. Sin embargo, los inventarios se construyen y publican para una serie de compuestos o clases químicas que no siempre se corresponden con las especies modelo consideradas en los mecanismos. En consecuencia, las especies del inventario, que en general están asociadas a contaminantes criterio y a gases de efecto invernadero, deben ser convertidas a las especies modelo por medio de perfiles de especiación específicos para cada tipo de fuente. Estos perfiles contienen fracciones en peso de los diferentes compuestos que componen una determinada clase química considerada en el inventario. En particular, los perfiles se desarrollan para los denominados compuestos orgánicos volátiles (VOC), que intervienen en la formación de ozono, y para el material particulado (PM). La mayor parte de los perfiles de especiación se obtienen de referencias norteamericanas, en especial de la base de datos SPECIATE de la EPA [5].

Compilar y adaptar los inventarios de emisión a los requerimientos de los MCA resulta entonces una tarea compleja. A fin de simplificar este proceso, una serie de sistemas de procesamiento de emisiones han sido desarrollados. Estos son capaces de procesar tanto inventarios de emisión locales como bases de datos globales, tales como RETRO, EDGAR [6]. Por ejemplo, SMOKE [7] es un modelo desarrollado para crear emisiones especiadas, grilladas y desagregadas a una hora para varios MCA en los Estados Unidos. A partir de este modelo se han obtenido adaptaciones para España [8,9] y Europa. Otro ejemplo es el preprocesador *Prep\_chem\_sources* [10] diseñado para trabajar principalmente con WRF/Chem [11].

Una de las mayores dificultades encontradas en la especiación de emisiones es la no correspondencia entre las especies modelo de los distintos mecanismos químicos. Esto, entre otras cosas, dificulta re-procesar las emisiones si el mecanismo químico elegido en el MCA se modifica. Sin embargo, se encuentra disponible una base de datos de especiación desarrollada por W. Carter [12] para ser incluida en SMOKE. Esta base incluye asignaciones de los perfiles a especies químicas concretas que luego utiliza para asignar a las especies modelo correspondientes a cada mecanismo químico.

En este trabajo se ha desarrollado una metodología para la especiación química de las emisiones vehiculares de la ciudad de Mendoza según diferentes mecanismos químicos y su adaptación al formato requerido por el preprocesador de emisiones de WRF/Chem denominado *emis\_v03* [13]. Dicha metodología se ha aplicado a fin de obtener la especiación de las emisiones para el año 2006 según el mecanismo químico RADM2.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Inventarios de emisión

El inventario de emisiones de fuentes móviles de la ciudad de Mendoza para el año 2006 considera 29 categorías vehiculares. La elección de las categoría vehiculares, es decir de las fuentes, es de gran importancia debido a que para ellas se buscan los perfiles de especiación. En el inventario se consideran emisiones de escape en caliente, en frío y evaporativas de 14 contaminantes. La metodología utilizada en su desarrollo se describe en Puliafito y otros [14].

### 2.2 Perfiles de especiación

Los perfiles de especiación se han tomado de la base de datos y del software para procesar las emisiones de VOC para MCA de W. Carter [12]. Esta base de datos reúne los perfiles de otras bases de datos como SPECIATE 3.2 de la EPA y de otras agencias de protección ambiental, entre ellas las de los estados de California y Texas. Los datos utilizados para crear estos perfiles provienen de una gran variedad de fuentes incluyendo artículos científicos y tests de emisiones conducidos principalmente por la EPA.

Los perfiles con sus clases químicas nativas son desagregados en especies químicas específicas (llamadas en el software como especies maestras) que luego son agregadas según el mecanismo químico elegido para obtener los perfiles de especiación que serán utilizado por el MCA, es decir, las fracciones en peso de las diferentes especies modelo que componen la emisión de VOC de una determinada fuente. Esto permite la obtención de perfiles para cualquier mecanismo químico, en este caso particular se eligió el mecanismo RADM2 ya que es el configurado por defecto en WRF/Chem.

Tipo Vehículo	Combustible	Base de datos	Perfil (Codigo utilizado al interno de la BD)	Descripción	Número de especies consideradas
PC,LDV	Nafta, GNC	W.Carter - SPECIATE 3.2	S32-1101	Light Duty Gasoline Vehicles - 46 Car Study	89
PC,LDV	Diesel	W.Carter - SPECIATE 3.2	S32-1201	Light-Duty Diesel Vehicles	50
HDV, BUS	Diesel	SPECIATE 4.2 – Incorporada a W. Carter	S32-4674	Diesel Exhaust - Medium Duty Trucks	143
PC,LDV	Nafta	SPECIATE 4.2 – Incorporada a W. Carter	S32-4547	Gasoline Headspace Vapor - Circle K Diesel - adjusted for oxygenates	94

Tabla 1 – Características de los perfiles elegidos para la especiación

La elección de los perfiles para las fuentes de emisión consideradas se realizó en base a la descripción de los perfiles y teniendo como ejemplo la elección realizada en SMOKE. No se encontraron perfiles específicos para vehículos a GNC por lo que se eligió el mismo perfil que para vehículos nafteros. Los perfiles para LDV y HDV diesel y los de emisiones evaporativas de nafta de SPECIATE 4.2, fueron incorporados a la base de datos para

poder ser utilizados. Sin embargo, no todos los compuestos considerados en estos perfiles se hallaban asociados a una especie maestra y por tanto no fueron asignados para la especiación. En la Tabla 1 se presentan los perfiles elegidos para las distintas fuentes. En la Tabla 2 se detallan las especies consideradas por dentro del mecanismo RADM2 para la especiación.

### 2.3 Especiación química

El primer paso en la especiación química fue la obtención de las emisiones de VOC del inventario de emisiones vehiculares para el año 2006 de la ciudad de Mendoza. Luego, se realizó la búsqueda de los perfiles correspondientes a cada fuente/categoría vehicular. A partir los programas de FORTRAN profpro y specpro, que utilizan la base de datos de W. Carter, se obtuvo un archivo .GSP (formato utilizado por el procesador de emisiones GSPRO de SMOKE) con la especiación de dichos perfiles para el mecanismo químico RADM2.

Se realizó una conversión de las emisiones del inventario de VOC a TOG (Total Organic Gases). En algunos casos es necesario adaptar la emisión de VOC a TOG, es decir, determinar que porción del perfil está compuesto por especies no fotoquímicamente reactivas (ej. metano, etano, acetona).

Finalmente, se realizó la distribución de las emisiones del inventario en las especies modelo de acuerdo a los perfiles obtenidos de acuerdo a la Ecuación (1).

$$E_{i,j} = ETOG_{i,j} X_{i,j} \quad (1)$$

Grupo	Especie Modelo	Definición
	CH4	Metano
	ETH	Etano
Alcanos	HC3	Alcanos con constante de reacción entre $2.7 \cdot 10^{-13}$ y $3.4 \cdot 10^{-12}$
	HC5	Alcanos con constante de reacción entre $3.4 \cdot 10^{-12}$ y $6.8 \cdot 10^{-12}$
	HC8	Alcanos con constante de reacción mayor a $6.8 \cdot 10^{-12}$
Alquenos	OL2	Etileno
	OLT	Alquenos terminales
	OLI	Alquenos internos
	ISO	Isopreno
Aromáticos	TOL	Tolueno y aromáticos menos reactivos
	CSL	Cresol y otros aromáticos sustituidos por hidroxilos
	XYL	Xilenos y aromáticos más reactivos
Carbonilos	HCHO	Formaldehido
	ALD	Acetaldehído y aldehídos mayores
	KET	Cetonas
	GLY	Glioxal
	MGLY	Metil glioxal
Ácidos orgánicos	ORA1	Ácido fórmico
	ORA2	Ácido acético
	MVK	Metil vinil cetona
	MACR	Meta acroleína

Tabla 2 – Compuestos considerados por el mecanismo RADM2.

Donde ETOG es la masa de emisión del compuesto i para la fuente j y X es la fracción de

masa del compuesto  $i$  respecto al total de TOG para la emisión de la fuente  $j$ .

Una vez obtenidas las emisiones especiadas, estas se distribuyen espacial y temporalmente. Para ello se utilizan perfiles de distribución de flujo vehicular horarios y una grilla de 500 metros de resolución.

Estas emisiones son adaptadas entonces a lo requerido por el preprocesador de emisiones emis\_v03 para luego poder ser incorporadas a WRF/Chem. Este proceso prevé un cambio de unidades de las emisiones de gramos a moles y la creación de la estructura de directorios y archivos utilizada por emis\_v03.

### 3. RESULTADOS

Si bien en este trabajo estamos interesados en la emisión de VOC para su especiación, en la Figura 1 se presentan las emisiones de CO y NO<sub>x</sub> como referencia. La emisión de CO, y en menor medida de VOC, se debe principalmente a vehículos nafteros. La contribución de vehículos pesados es mayor en la emisión de NO<sub>x</sub>. Las emisiones evaporativas se consideran solo para vehículos nafteros por lo que no hay contribución de buses y HDV. La emisión de TOG es levemente mayor a la de VOC debido a que dentro de los VOC no se consideran especies no fotoquímicamente reactivas como el metano, etano, acetona.

A partir de la emisión de TOG de cada fuente y por medio de los perfiles de especiación elegidos se obtuvieron las emisiones de los distintos compuestos orgánicos considerados por el mecanismo RADM2 (ver Figura 2). Cabe recordar que este es un mecanismo que representa distintas especies de VOC cuyas reacciones son similares en una misma especie modelo con parámetros fijos. Es decir que se pasa del gran número de sustancias presentes en los perfiles a las 23 especies consideradas en este mecanismo químico.

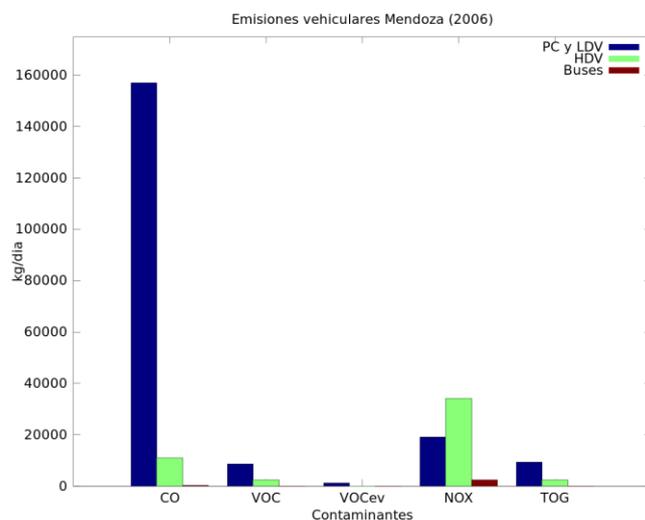


Figura 1 – Emisiones vehiculares de CO, VOC, NO<sub>x</sub> y TOG para la ciudad de Mendoza para el 2006.

La emisión de alcanos, alquenos y aromáticos es considerablemente mayor para los vehículos nafteros. En cambio, la emisión de aldehídos es mucho mayor para vehículos diesel. Esto se puede confirmar observando la comparación entre la composición de los perfiles S32-1101 y S32-4674 en la Figura 3.

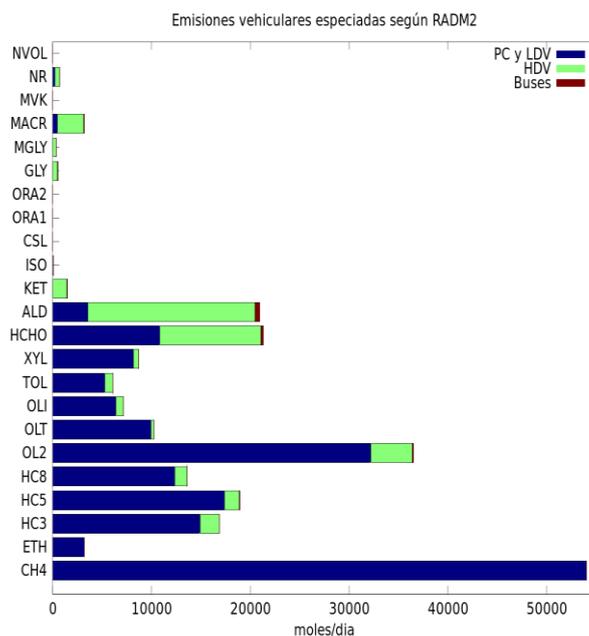


Figura 2 – Emisiones vehiculares de especies modelo para el mecanismo químico RADM2.

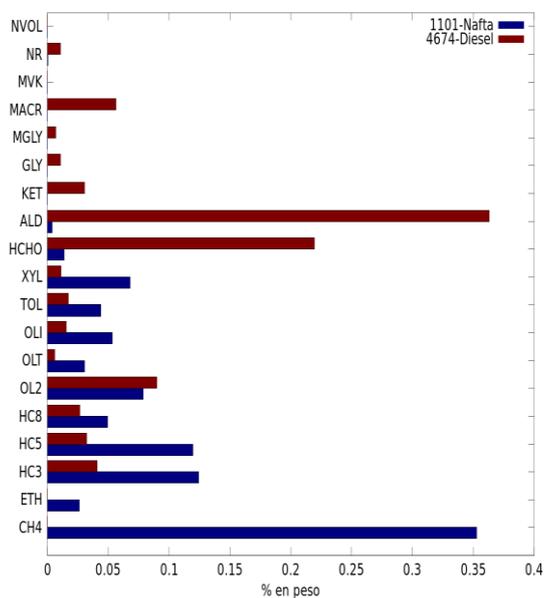


Figura 3 – Composición de los perfiles de especiación para vehículos nafteros y diesel utilizadas en la especiación de la emisiones vehiculares

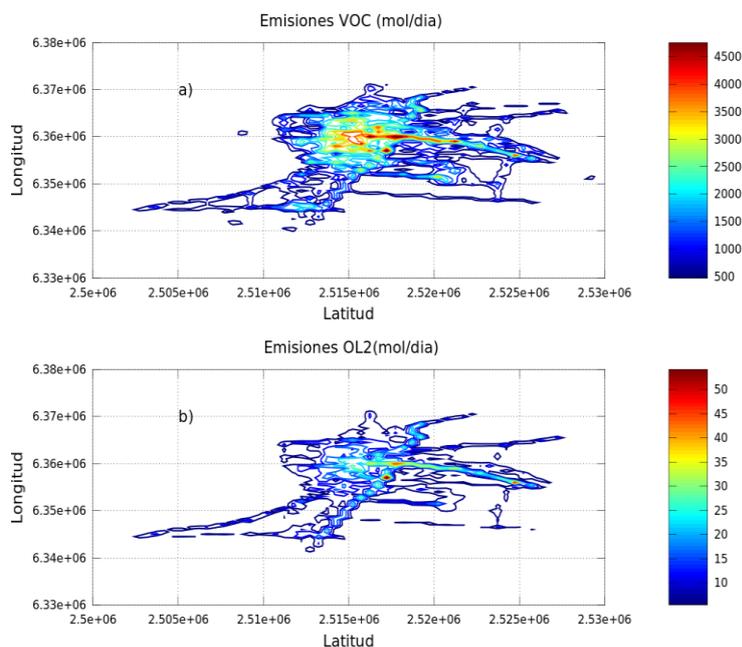


Figura 4 – Grilla de emisiones vehiculares para a) VOC y b) Etileno para la ciudad de Mendoza.

Las emisiones químicamente especiadas según RADM son distribuidas espacial y temporalmente y se obtienen grillas de emisión como las que se pueden observar en la Figura 4 para VOC (4.a) y etileno (4.b). El patrón de emisiones se corresponde con el de la red vial de la ciudad ya que esta ha sido utilizada como variable para la distribución espacial. Como se puede observar, hay una mayor concentración de las emisiones alrededor de los centros urbanos y de las autopistas de la ciudad (Accesos Sur y Este). Estas emisiones grilladas horarias se han organizado en archivos separados dentro de una estructura particular de directorios que permite su incorporación en el preprocesador de emisiones emis\_v03 y su posterior modelación en WRF/Chem.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una metodología de especiación química para el inventario de emisiones vehiculares de la ciudad de Mendoza [14] y su adaptación para ser incorporadas a WRF/Chem. Para ello se hace uso de la base de datos y el software desarrollado por W. Carter que posibilitan la especiación para distintos mecanismos químicos. En este trabajo se ha seleccionado el mecanismo RADM2 debido a que es el utilizado por defecto en WRF/Chem.

Si bien los tipos de fuente considerados en el inventario de emisión son 29, la cantidad de perfiles disponibles para vincular a cada una de estas fuentes es escaso. Es decir, que se asumió una importante simplificación en la caracterización de las fuentes para seleccionar solo 4 perfiles. Uno de ellos para vehículos nafteros (1101), otros dos para vehículos diesel (1201 y 4674) y un cuarto para emisiones evaporativas (4547). Los perfiles 4674 y 4547 fueron tomados de la más actualizada base de datos SPECIATE 4.2 y adaptados a la base de datos de W. Carter para poder ser utilizados. Para la elección de los perfiles se

consideraron también los perfiles elegidos al interno de SMOKE para la especiación de los inventarios NEI de la EPA [15].

Se presentan los resultados de la especiación de las emisiones vehiculares para 23 especies modelo consideradas en RADM2. Se observa una clara diferencia en la composición de los perfiles de vehículos diesel y nafteros, siendo mayores las emisiones de alcanos, alquenos y aromáticos para estos últimos y las de aldehídos para vehículos diesel.

Las emisiones especiadas se distribuyeron espacialmente utilizando la red vial de la ciudad en una grilla de 500 metros y temporalmente por medio de perfiles de flujo vial a emisiones horarias. Estas emisiones se organizan luego en una particular estructura de archivos y directorios que puede ser leída desde el preprocesador de emisiones de WRF/Chem emis\_v03. Es decir que las emisiones vehiculares son adaptadas para poder ser utilizadas al interno de WRF/Chem en la modelación de la química atmosférica, especialmente en la química del ozono.

Cabe aclarar que la aplicación de esta metodología de especiación a otros inventarios de emisión locales no es directa debido a la falta de estandarización de las fuentes de emisión en los inventarios y a las posibilidades inherentes a su compilación en distintas realidades. En Sudamérica son excepcionales los casos de Santiago de Chile, Bogotá y México.

Se considera que este es un primer paso hacia inventarios de emisión que posean el detalle requerido por los modernos modelos de calidad del aire como son WRF/Chem, CMAQ y otros similares. Sin embargo, se asume indispensable también un análisis de las simplificaciones realizadas en su construcción de estos inventarios y del nivel de incertidumbre que ellas acarrearán.

## REFERENCIAS

- [1] Gery, M.W., Whitten, G.Z., Killus, J.P. & Dodge, M.C., A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling. *Journal of Geophysical Research*, 94, 1292-12956, (1989).
- [2] Carter, W. P. L., Documentation of the SAPRC-99 Chemical Mechanism for VOC Reactivity Assessment. Report to the California Air Resources Board, Available at <http://cert.ucr.edu/~carter/absts.htm#saprc99> (2000)
- [3] Stockwell, W. R., Middleton, P., & Chang, J. S., The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modeling. *Journal of Geophysical Research*, 95, 16343-16367, (1990).
- [4] Dodge, M. C., Chemical oxidant mechanisms for air quality modeling: critical review. *Atmospheric Environment*, 34(12-14), 2103-2130, (2000).
- [5] U.S. EPA, SPECIATE 4.2 Speciation Database Development Documentation. EPA600-R-09/038. Available at: <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/speciate>, (2009).
- [6] GEIA/ACCENT, GEIA-ACCENT database, an international cooperative activity of AIMES/IGBP. ACCENT EU Network of Excellence. <http://www.geiacenter.org>, (2005).
- [7] UNC Carolina Environmental Program: Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) Modeling System, UNC Chapel Hill, North Carolina, USA, (2005).
- [8] Borge, R., Lumbreras, J., & Rodriguez, E., Development of a high-resolution emission inventory for Spain using the SMOKE modelling system: A case study for the years 2000 and 2010. *Environmental Modelling and Software*, 23, 1026–1044, (2008).
- [9] Bieser, J., Aulinger, A., Matthias, V., Quante, M., & Builtjes, P., SMOKE for Europe -

- adaptation, modification and evaluation of a comprehensive emission model for Europe. *Geoscientific Model Development Discussions.*, 3, 949-1007, (2010).
- [10] Freitas, S.R., Longo, K.M., Alonso, M.F., Pirre, M., Marecal, V., Grell, G., Stockler, R., Mello, R.F., & Sánchez Gácita, M., A pre-processor of trace gases and aerosols emission fields for regional and global atmospheric chemistry models. *Geoscientific Model Development Discussions*, 3, 855-888, (2010).
- [11] Grell, G. A., Peckham, S. E., Schmitz, Rainer, McKeen, S. a, Frost, G., Skamarock, W. C., et al., Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*, 39(37), 6957-6975, (2005).
- [12] Carter, W. P. L., Current Project Information Page: Development of an Improved Chemical Speciation Database for Processing Emissions of Volatile Organic Compounds for Air Quality Models, <http://www.cert.ucr.edu/~carter/emitdb>, (2004).
- [13] Peckham, S., Grell, G., McKeen, S., Fast, J., Gustafson, W., Ghan, S., et al., WRF/Chem Version 3.2 User's Guide. Available from [http://ruc.noaa.gov/wrf/WG11/Users\\_guide.pdf](http://ruc.noaa.gov/wrf/WG11/Users_guide.pdf) (2010).
- [14] Puliafito, S.E.; Castro, F.; Allende, D.: Air-quality impact of PM10 emission in urban centres, *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. x, No. x, xxxx, Inderscience Publishers ISSN (Online): 1741-5101 - ISSN (Print): 0957-4352. (aceptado).
- [15] U.S. EPA, National Emissions Inventory (NEI) Air Pollutant Emissions Trends Data, <http://www.epa.gov/ttnchie1/trends/>, (2011).



## MODELACIÓN DE UN EVENTO METEOROLÓGICO DE MESOESCALA UTILIZANDO EL MODELO WRF

Fernandez, Rafael<sup>1,2\*</sup>; Lakkis, Gabriela<sup>3,4</sup>; Allende, David<sup>1</sup>; Santos, Ruben<sup>2</sup>; Cremades, Pablo<sup>1</sup>; Puliafito, Enrique<sup>1</sup>

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273 (5500) Mendoza, Argentina  
e-mail: rpfernandez@uncu.edu.ar  
web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

2: Instituto de Ciencias Básicas (ICB)  
Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo)  
Centro Universitario s/n, Parque Gral. San Martín, Mendoza, Argentina

3: Facultad de Ciencias Agrarias  
Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA)  
Cap. Gral. Ramón Freire 183, Buenos Aires, Argentina

4: Equipo Interdisciplinario para el estudio de procesos atmosféricos en el Cambio Global -PEPACG  
Alicia Moreau de Justo 1600, Buenos Aires, Argentina

**Palabras clave:** Modelo WRF, viento Zonda, Mesoescala, Análisis Sinóptico, Validación.

**Resumen** *El modelo Weather Research and Forecasting (WRF) es un modelo meteorológico de última generación que permite obtener campos de viento, presión, temperatura y humedad con alta resolución espacio-temporal, los cuales son de suma importancia como datos de entrada de los modelos de calidad de aire. El modelo WRF tiene la particularidad de poder ser configurado localmente para representar dominios espaciales en diferentes escalas de acuerdo al estudio que desee realizarse. Para ello deben seleccionarse de manera adecuada tanto las bases de datos como las condiciones iniciales y de contorno que mejor permitan describir los fenómenos deseados. En este trabajo se describe la mejor configuración local obtenida para WRF tendiente a simular la evolución de un evento de mesoescala, i.e. un viento Zonda que afectó la región de Cuyo en Febrero de 2007. Los grandes cambios mostrados por las principales variables atmosféricas fueron comparados con las mediciones superficiales provistas por el Servicio Meteorológico Nacional, mostrando un excelente acuerdo. La metodología presentada, partiendo de un análisis de las condiciones sinópticas, permite obtener una completa descripción del viento Zonda en escala regional, haciendo posible presentar un análisis de la evolución temporal y espacial del fenómeno a nivel de mesoescala.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad del aire en una región determinada está influenciada por diversos factores, entre los cuales la meteorología es de suma importancia. Es por ello que en la actualidad, los modelos de calidad de aire han evolucionado para incluir una representación 3-D y de alta resolución de los campos de viento, temperatura y presión que afectan el área de estudio [1]. Esto permite obtener una correcta descripción de la variación espacial y temporal de la capa límite planetaria, de suma importancia en el cómputo del volumen de dilución de los contaminantes atmosféricos. Si bien un estudio de calidad de aire típico suele considerar las condiciones atmosféricas más frecuentes de una localidad, los eventos de elevada contaminación puntual, suelen estar relacionados con fenómenos meteorológicos severos que alteran la climatología propia de la región.

El Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA) viene trabajando desde hace un par de años en la implementación y configuración de modernos modelos meteorológicos y de calidad de aire con alta resolución espacial y temporal. En particular hemos conseguido configurar localmente el modelo meteorológico WRF (*Weather Research and Forecasting*) [2] y acoplarlo con la extensión química modular WRF/Chem (*WRF with Chemistry*) [1]. Con WRF hemos realizado varios estudios de calidad de aire en escala regional para Mendoza, Buenos Aires, Bahía Blanca y Tucumán [3-5], así como generar campos meteorológicos de alta resolución adaptables a modelos de calidad de aire locales como CALPUFF [6] y de trayectorias como HYSPLIT [7]. Sin embargo, pese a todos los avances alcanzados, resta aún continuar con la validación de la configuración local del modelo WRF, siendo necesario evaluar su comportamiento para diferentes situaciones meteorológicas.

En este trabajo se presenta el estudio de un evento meteorológico severo de mesoescala como es un viento Zonda que afectó la región de Cuyo el día 15 de Febrero de 2007. Para ello se seleccionaron condiciones atmosféricas de contorno que permitieran reproducir la generación del evento, y se compararon las simulaciones con las mediciones provistas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El trabajo incluye una descripción detallada de la configuración local del modelo y de las principales parametrizaciones y esquemas físicos utilizados. Se analiza la evolución espacio-temporal de las principales variables meteorológicas que permiten caracterizar el viento Zonda (temperatura, punto de rocío y humedad relativa), las cuales también son muy relevantes en los estudios de calidad de aire.

## 2. DESCRIPCIÓN FENOMENOLÓGICA DEL VIENTO ZONDA

La generación del viento Zonda que afecta los valles ubicados al Este de los Andes puede describirse de la siguiente manera [8,9]: Una masa de aire fría y húmeda procedente del Oeste, se ve forzada a ascender sobre el cordón montañoso, encontrando menores presiones, que dan lugar a su expansión y, por consiguiente, a su enfriamiento, a razón de 0,65°C cada 100 metros. Esto produce la condensación del vapor de agua contenido, generando nubes y precipitación (néveas y lluvia) sobre las laderas a barlovento. Una vez superado el obstáculo orográfico, el aire desciende y, por compresión, aumenta su temperatura a razón de 1°C cada 100 metros, pero ahora seco, por lo que no pierde calor por evaporación. La diferencia entre las velocidades de calentamiento y enfriamiento se debe a la condensación del vapor de agua durante el ascenso, que libera una cierta cantidad de calor denominada calor latente de condensación. La dirección predominante del zonda presenta una fuerte componente del Oeste y la velocidad del mismo se

caracteriza por su elevada rafagosidad. Esto provoca que se levante gran cantidad de polvo, disminuyendo notoriamente la visibilidad horizontal. Este tipo de fenómeno es conocido como *Zonda en Superficie*.

Análisis realizados en San Rafael muestran que cuando una parcela de aire que tiene una temperatura de 15°C en la costa chilena, llega al paso Cristo Redentor (3832 m) con una temperatura de -10°C; luego al descender hasta las ciudades de San Juan (630 m) y Mendoza (703 m), alcanza temperaturas de 22°C y 21°C, respectivamente. Existe además un marcado descenso de la humedad relativa, la cual alcanza valores muy bajos, a menudo inferiores al 10% [10]

Un evento de Zonda en Superficie termina, en la mayoría de los casos, tan abruptamente como comenzó, por invasión de aire frío proveniente del Sur. No obstante, en la tropósfera alta, el *Zonda en Altura* continúa soplando sobre el aire frío hasta que el espesor del frente frío es igual a la altura de la cordillera. Debido a que la variación de las corrientes atmosféricas a escala sinóptica es generalmente lenta pero permanente, un par de días más tarde comienza un nuevo ciclo con Zonda en Altura [11]. Los pobladores de la región andina suelen decir "*está zondeando en altura*", cuando observan ciertos fenómenos típicos tales como, el aspecto del cielo, el comportamiento de los animales o ciertos síntomas en el organismo humano.

## 2.1. Caracterización meteorológica del viento Zonda

Las variaciones higo-térmicas y el viento máximo alcanzado son los elementos que mejor identifican al día de viento Zonda, junto con el calentamiento superficial y la disminución de la humedad. Para determinar los cambios relacionados con el comienzo, la duración y el fin del Zonda, se puede analizar la variación inter-horaria de las siguientes variables meteorológicas: temperatura de aire; temperatura de punto de rocío; humedad relativa; dirección e intensidad del viento [8]. Existen en bibliografía dos métodos indirectos de detección del fenómeno: el del *Zonda Térmico* y el del *Zonda Hígrico* [9].

El primer método tiene como objetivo determinar el incremento de temperatura que ocurre en un intervalo de tiempo dado, teniendo en cuenta la onda climática diaria. El segundo método es semejante al anterior, pero considera la variación de humedad relativa existente en un intervalo de tiempo fijo. Dada esta situación, existe un conjunto de elementos meteorológicos que caracterizan al Zonda, o más precisamente, la variación inter-horaria de este conjunto es lo que permite reconocer una situación de Zonda. Además, es importante reconocer y ver en qué medida coinciden ambos métodos.

- *Zonda Térmico*: Al restar la variación de la temperatura media de la variación de la temperatura real se obtiene un valor superior a 1,5°C (las variaciones son consideradas entre una hora y la siguiente).
- *Zonda Hígrico*: Al restar la variación de la humedad relativa media de la variación de la humedad relativa real (entre esa misma hora y la siguiente), se obtiene un valor mayor o igual que -6% (siempre que la humedad sea inferior a 48%).

## 3. METODOLOGÍA

Esta sección está orientada a describir los esquemas de modelado y parametrizaciones físicas que conforman la "*configuración local*" del modelo WRF. La selección de las

distintas opciones se realizó considerando *i*) el fundamento físico de cada aproximación, y *ii*) la sensibilidad sobre las variables de salida del modelo. La configuración local incluye también la disposición de los dominios de modelado así como la selección de las condiciones iniciales y de contorno (CIC) sinópticas existentes durante la generación del viento Zonda.

### 3.1. Análisis de la situación sinóptica del evento

La Figura 1 muestra la situación sinóptica existente el día 15 de Febrero de 2007 a las 00:00 hs y 12:00 hs, obtenidas a partir de los datos de re-análisis FNL del *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) [12]. El panel muestra un mapa en escala sinóptica de la velocidad de presión vertical para un nivel de presión de 500 mb. Este tipo de mapas son normalmente utilizados por los servicios meteorológicos para realizar sus pronósticos operativos (e.g. *COLA Weather and Climate Data*, <http://wxmaps.org/>).

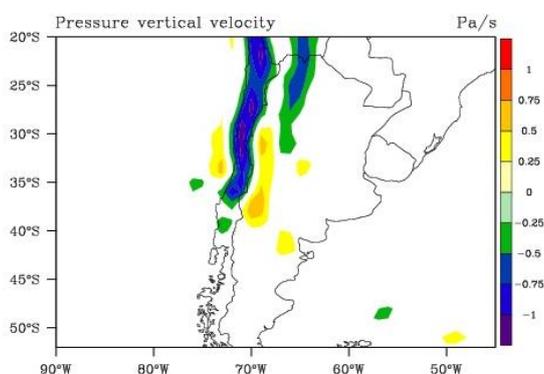


Figura 1. Análisis de la situación sinóptica existente para el día 15 de Febrero de 2007.

La situación sinóptica se caracteriza por una vaguada existente y el pasaje de un frente frío que se desplaza desde la cordillera con dirección Oeste-Sudoeste. En estos casos, puede asumirse con fiabilidad que existe un ascenso y posterior descenso orográfico de una masa de aire pre-frontal fuertemente baroclínica, generando en la cúspide de la cordillera un viento frío que se calienta adiabáticamente al descender. La componente zonal del viento es significativamente mayor a ambos lados de la máxima altura de la cordillera. Además, la troposfera media presenta una mayor cortante vertical del viento, y por ende mayor baroclinicidad, lo que señala el acercamiento de un sistema frontal.

### 3.2. Descripción del área de estudio y dominios de modelado

El dominio de modelado de alta resolución se encuentra centrado en la ciudad de Mendoza (32° 53' Sur, 68° 50' Oeste), posee una dimensión de 200 km Norte/Sur × 160 km Este/Oeste, abarcando las Ciudades de San Juan y San Rafael. El *downscaling* se realizó considerando 3 dominios anidados con resolución de 36, 12 y 4 km, respectivamente, con una extensión vertical de 28 niveles e incorporando las bases de datos estáticos de alta resolución sólo para el dominio externo. El tipo de anidado utilizado es *one-way-nesting*, que implica que las CIC de los dominios más pequeños son interpoladas a partir de los dominios mayores sin modificarlas. Las CIC del dominio mayor se obtuvieron del NCEP.

En la Figura 2 se muestran los 3 dominios anidados junto a una ampliación del dominio más pequeño, donde puede apreciarse la complejidad orográfica de la precordillera y cordillera, la cual tiene una fuerte influencia en la meteorología y calidad de aire local.

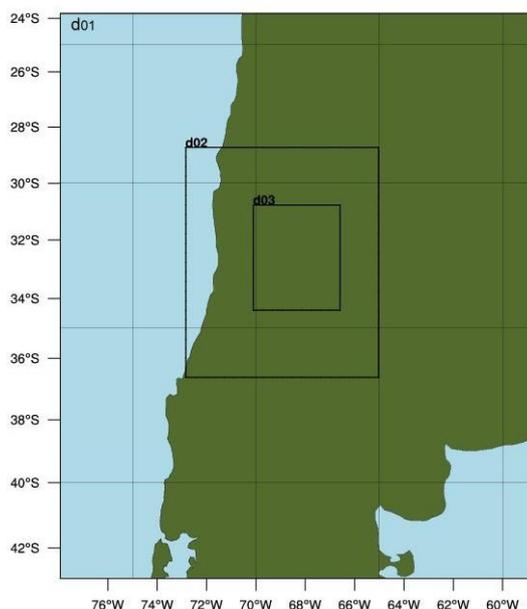


Figura 2. Dominios de modelado anidados utilizados en la configuración local de WRF.

### 3.3. Configuración local del modelo WRF

En la Tabla 1 se muestran las opciones que definen la mejor configuración local de WRF obtenida para la región de Cuyo. A continuación se presenta una breve descripción de los fundamentos físicos de los esquemas más relevantes [1,2].

**Microfísica de la Atmósfera:** Se utilizan tanto el esquema WSM (*WRF Single Moment*) de 5 clases como el propuesto por *Purdue Lin* y colaboradores. Ambos incluyen vapor de agua, nubes líquidas y de hielo, lluvia, nieve y granizo; pero el primero adiciona agua superenfriada y derretimiento de granizo.

**Transferencia Radiativa de Onda Larga:** Incluye radiación térmica e infrarroja absorbida y emitida por la superficie y los gases. El modelo RRTM (*Rapid Radiative Transfer Model*) está basado en el utilizado por el modelo MM5, y posee un esquema de banda espectral que utiliza el método de correlación-*k*.

**Transferencia Radiativa de Onda Corta:** Incluye explícitamente la radiación ionizante y fotoquímica proveniente del Sol, incluyendo absorción, reflexión y dispersión. El esquema *Goddard* realiza un cómputo *2-stream* basado en 11 bandas espectrales, mientras que el esquema *Dudhia*, tomado del modelo MM5, utiliza *look-up tables*.

**Física Superficial:** Considera la forma en que los forzantes radiativos y forzantes latentes de precipitación afectan a los distintos tipos y usos de suelo. El esquema *Noah* incluye 4 niveles superficiales, considera temperatura y humedad del suelo, evapotranspiración, drenaje, rugosidad del suelo y fracción total cubierta por nieve y hielo.

**Capa Límite Planetaria (PBL):** El esquema de la *Yonsei University* (YSU) sucede al esquema MRF y utiliza los calores latentes y sensibles superficiales para determinar los flujos y difusión verticales de manera independiente de los horizontales.

	Esquema Utilizado	Nombre en WRF	Valor en WRF
<b>WPS</b>			
Elevación de Terreno	SRTM3	-	-
Tipos y Usos de Suelo	GEAA	-	-
CIC	FNL	FNL	1
<b>&amp;time_control &amp;domain</b>			
Resolución Temporal	$\Delta t$ (seg)	time_step	216
Resolución Espacial	$\Delta x, \Delta y$ (km)	dx,dy	36,12,4
Resolución Vertical	$\Delta z$ (ETA levels)	e_vert	27 niveles
Datos de Entrada	Anidado	input_from_file	.T.,.F.,.F.
<b>&amp;physics</b>			
Microfísica	5-class WSM y Lin et al.	mp_physics	4,2,2
Radiación Larga	RRTM	ra_lw_physics	1,1,1
Radiación Corta	Goddard y Dudhia	ra_sw_physics	2,1,1
Física Superficial	Unified NOAH	sf_surface_physics	2,2,2
niveles superficiales	NOAH	num_soil_layers	4,4,4
PBL	YSU	bl_pbl_physics	1,1,1
Cúmulos	Grell G3	cu_physics	5,5,0
<b>&amp;dynamics</b>			
Integración	Runge-Kutta 2° orden	rk_ord	3
Velocidad vertical	Damping Habilitado	w_damping	1
Turbulencia y mezclado	Difusión de 2° orden	diff_opt	1
Coeficiente Eddy	Smagorinsky	km_opt	4
Prognosis	Anulada	progn	0

Tabla 1. Selección de esquemas y parametrizaciones utilizadas en la configuración local de WRF.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Validación puntual de las variables meteorológicas

En la Figura 3 se muestra la variación temporal de la temperatura ( $T_a$ ) y la humedad relativa ( $HR$ ), ambas a 2 metros, medidas por el SMN y simuladas con WRF. Puede verse como la simulación predice correctamente la variación diaria de los máximos y mínimos diarios de  $T_a$  y  $HR$ , los cuales están directamente relacionados entre sí. El día 15 de Febrero aproximadamente a las 12:00 UTC (9:00 hora local) se observa una caída abrupta de la  $HR$ , como consecuencia de la llegada del Zonda. Si bien en la simulación la caída inicial de  $HR$  sigue el comportamiento observado, el posterior incremento luego de la culminación del Zonda es mayor de lo esperado. Estas diferencias son de esperar, ya que la variación de RH es un fenómeno altamente localizado y que siempre presenta grandes dificultades en su simulación. Es más, WRF predice la saturación atmosférica las 2 noches siguientes al Zonda, lo cual es una sobreestimación. Cabe destacar que la cantidad de eventos de saturación atmosférica simulados se redujo notablemente utilizando las opciones dinámicas  $w\_damping = 1$  y  $diff\_opt = 1$ .

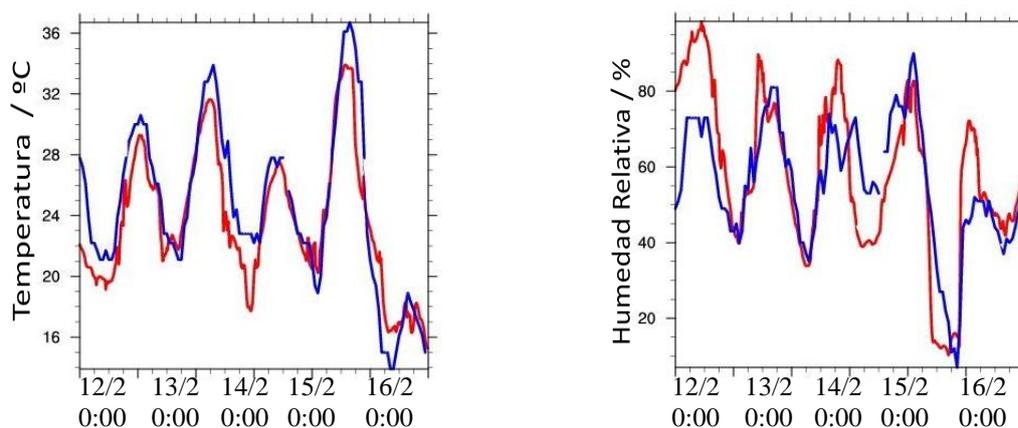


Figura 3. Comparación temporal de las simulaciones de WRF (rojo) con los datos del SMN (azul):  
a) temperatura a 2 m ( $T_a$ ); b) humedad relativa ( $RH$ )

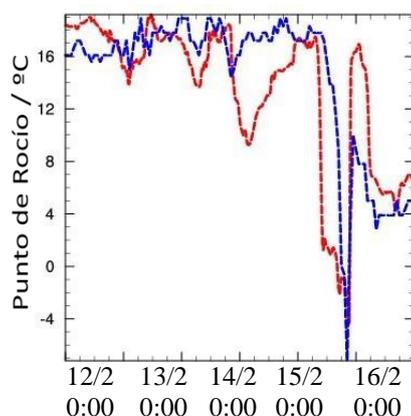


Figura 4. Variación temporal de  $T_a$  para WRF (rojo) y SMN (azul).

La Figura 4 muestra los valores de Temperatura o Punto de Rocío ( $T_d$ ) para el mismo período, en una representación que hace más evidente el cambio abrupto que provoca la llegada del Zonda. Es importante notar que la caída inicial de  $T_d$  ocurre alrededor de 3 horas antes de lo observado, sobrestimando el incremento luego del Zonda. Estas diferencias posiblemente se deban a que el modelo WRF posee una limitación intrínseca, permitiendo el anidado horizontal pero no vertical. Esto provoca que el descenso a superficie del viento Zonda ocurra más rápido y con más fuerza. [13] han recalcado la importancia de incluir una elevada resolución vertical de todos los dominios en WRF, principalmente en las capas más bajas de la atmósfera.

#### 4.2. Evolución Temporal del viento Zonda en Superficie

Los paneles de la Figuras 5 muestran los mapas superficiales de  $T_d$  y líneas de contorno de  $T_a$  cada 3 horas a partir del 15 de Febrero a las 09:00 UTC. Además se muestran los vientos superficiales de alta resolución obtenidos con WRF.

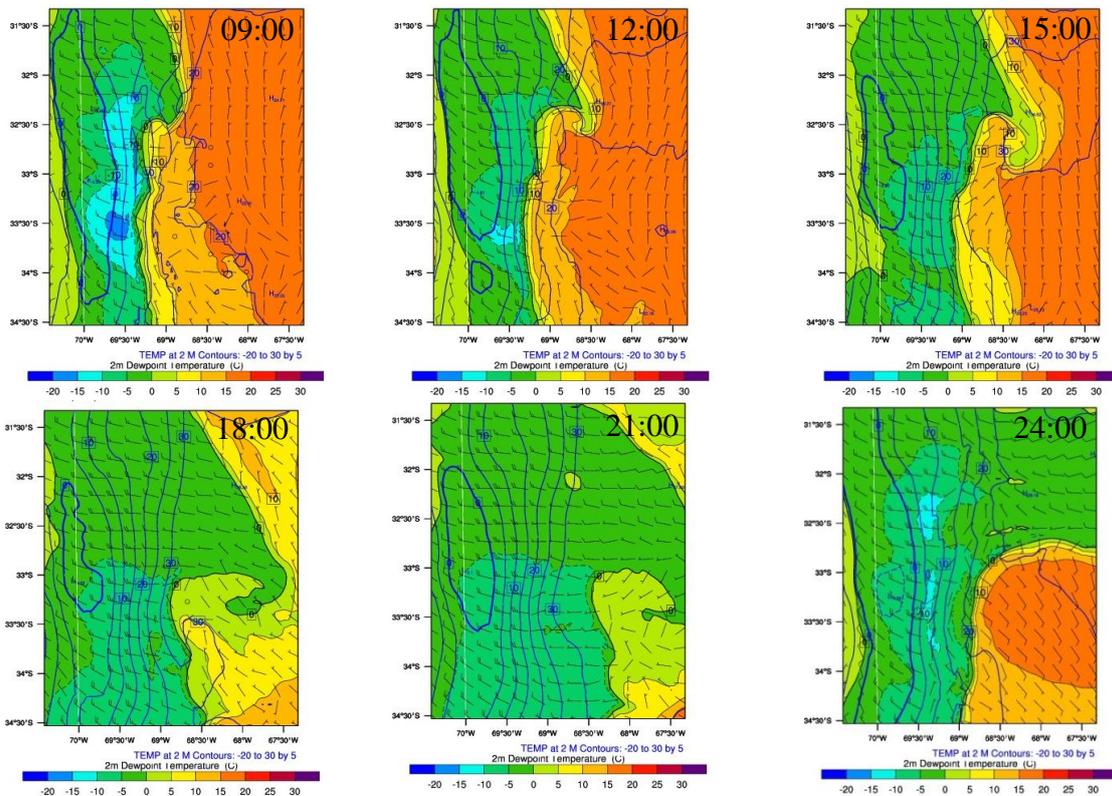


Figura 5. Mapas de punto de rocío ( $T_d$ ), temperatura a 2 m ( $T_a$ ) y campos de viento cada 3 hs.

Aquí puede verse como el Zonda cruza la cordillera y avanza sobre la región de Cuyo a las 12:00 UTC, permaneciendo hasta las 24:00 UTC cuando comienza a entrar un frente frío y húmedo desde el Sur. La irrupción abrupta ocurre justo entre los límites de las provincias de San Juan y Mendoza, observándose su máxima fuerza a las 18:00 UTC. Si bien  $T_a$  a ambos lados de la cordillera posee valores equivalentes, del lado chileno la temperatura ambiente es mucho menor, por lo que poseen una elevada  $HR$  (ver Figura 6). Es importante notar que a partir de las 24:00 UTC empieza a ingresar un frente frío con un alto contenido de humedad (tanto  $RH$  como  $AH$ ), lo que provoca que a medida que pasan las horas desde la llegada del Zonda, los parámetros atmosféricos evolucionan hasta alcanzar los valores típicos existentes en la región.

En la Figura 6 se muestran los valores de  $RH$  para los instantes más relevantes: 12:00, 18:00 y 24:00 UTC. Es importante notar que del lado Oeste de la cordillera, siempre se observan valores de  $RH$  superiores al 90%, mientras que luego del brusco descenso debajo del 10% en la región de Cuyo, el ingreso del frente frío vuelve a establecer valores de humedad similares a los existentes antes del Zonda.

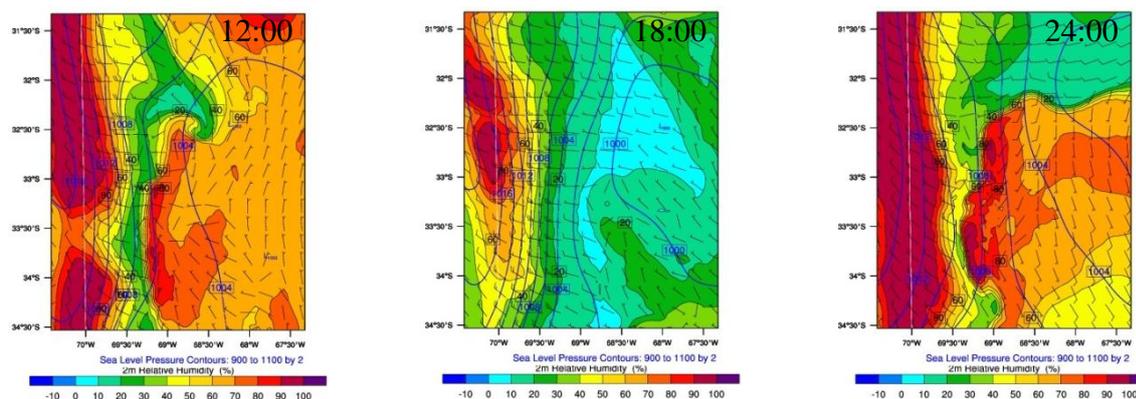


Figura 6. Mapas de humedad relativa ( $RH$ ), presión atmosférica ( $P$ ) y campos de viento cada 3 hs.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta los resultados de la simulación de un evento meteorológico severo como es el viento Zonda obtenidos con el modelo WRF. Se describe la configuración local del modelo, los esquemas y parametrizaciones utilizados, y se comparan las principales variables meteorológicas con los datos del SMN. Además, se realiza un simple análisis de las CIC que favorecen la simulación de este tipo de fenómenos meteorológicos. Los resultados obtenidos permiten, por un lado, validar la configuración local de WRF con datos superficiales, mientras que por otro, permite obtener una descripción global de la evolución espacial y temporal de un viento Zonda que afecta a la Región de Cuyo. Estos resultados, si bien están concentrados en un análisis netamente meteorológico, son de suma importancia en el estudio de la calidad de aire en Argentina, ya que los campos meteorológicos de alta resolución obtenidos con WRF pueden incorporarse en una amplia gama de modelos de calidad de aire. Además, el continuo desarrollo en la aplicación química WRF/Chem permitirá a futuro, y entre otras cosas, avanzar en el estudio de la química atmosférica y determinar la interacción existente entre la química y la física; en lo que constituye una de las principales líneas de investigación del grupo GEAA en la actualidad.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Servicio Meteorológico Nacional por facilitar los datos de la estación de “El Plumerillo”, Mendoza (SAME 87418). Este trabajo fue financiado parcialmente por la ANPCyT (PICT 2005 23-32686 y PRH 2009-0063) y PIP 2-5276 (CONICET).

## REFERENCIAS

- [1] Grell, G., Peckham, S., Schmitz, R., McKeen, S., Frost, G., Skemerock, W., Eder, B. “Fully coupled “online” chemistry within the WRF model”. *Atmospheric Environment*, 39, 6957-6975. (2005). <http://ruc.noaa.gov/wrf/WG11/>.
- [2] Wang, W., Bruyère, C., Duda, M., Dudhia, J., Gill, D., Lin, H-C., Michalakes, J., Rizvi, S., Zhang, X. “*WRF User's Guide*”, Mesoscale & Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research (NCAR). (2009). [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\\_v3.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf).

- [3] Fernandez, R., Allende, D., Castro, F., Cremades, P., Puliafito, E. "Regional Air Quality Modeling using WRF/Chem: implementation of global and local databases for Mendoza, Argentina". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AERMA)*, Vol. 14, pp. 01.43-01.50. 2010. ISSN 0329- 5284. (2010). <http://www.asades.org.ar/>
- [4] Fernandez, R., Allende, D., Castro, F., Cremades, P., Puliafito, E. "Sensitivity analysis of the spatial and altitude distributions of pollutants using the Weather Research and Forecasting model with chemistry (WRF/Chem)". *Mecánica Computacional*, Vol XXIX, pp. 8087-8108. ISSN 1666-6070. (2010). <http://www.amcaonline.org.ar/>
- [5] Allende, D., Cremades, E., Puliafito, E., Fernandez, R., Pérez Gunella, R. "Estimación de un Factor de Riesgo de Exposición a la Contaminación para la Población de la Ciudad de Buenos Aires". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AERMA)*, Vol. 14, pp. 01.127-01.134. ISSN 0329-5284 (2010). <http://www.asades.org.ar/>
- [6] J.S. Scire, D.G. Strimaitis, and R.J. Yamartino, A User ' s Guide for the CALPUFF Dispersion Model, (2000).
- [7] Fernandez R. y Puliafito E. "Modelado de la distribución espacio-temporal de la concentración de O<sub>3</sub> troposférico: relación entre la química atmosférica y la meteorología" *XXVIII Congreso Argentino de Química (AQA)*. (2010).
- [8] Norte, F. A., Tesis Doctoral. "Características del viento Zonda en la Región de Cuyo". Universidad de Buenos Aires, 255 pp. (disponible en Programa Regional de Meteorología, IANIGLA, CCT, Mendoza. (1988).
- [9] Simonelli, S., Tesis Doctoral. "Modelo estadístico de pronóstico de convección para la zona norte de la Provincia de Mendoza". Facultad de Ciencias. Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires. 158 pag. (2000).
- [10] Norte, F., Simonelli, S. Seluchi, M. "El caso de la temperatura máxima histórica en Mendoza AERO: ¿viento Zonda y/o subsidencia dinámica y forzada?. Boletín Climatológico – Junio 2000. Programa Regional de Meteorología PRM-IANIGLA, CONICET, Argentina (2000).
- [11] Research Data Archive, Computational and Information Systems Laboratory (CISL) at the National Center for Atmospheric Research (NCAR). <http://dss.ucar.edu>.
- [13] Santos, R., García Garino, C., Salinas, S., Martínez, P., "Simulación numérica de eventos convectivos severos en la Provincia de Mendoza", VI Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería, Energía y Medioambiente, p 36, (2011).

**SEGUNDA PARTE**

**ARTÍCULOS COMPLETOS**

**PRODECA**

PROYECTO INTEGRADOR PARA LA DETERMINACION  
DE LA CALIDAD DEL AGUA

**PRODECA**





# **CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL RIO TERCERO O CTALAMOCHITA. EVALUACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN 10 AÑOS.**

**Marín, Graciela N.; Moyano, Silvia A; Brussa, Daniela B.; Debernardi, Adriana y Bergero, Roberto**

Laboratorio de Química y Microbiología.  
Facultad Regional Villa María.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Av. Universidad 450. (5900). Villa María, Córdoba, Argentina.  
e-mail: lab\_quimica@frvm.utn.edu.ar, web: <http://www.frvn.utn.edu.ar>

**Palabras clave:** Aguas Subterráneas, calidad físico química, calidad microbiológica, Cuenca del Río Tercero.

**Resumen.** *Las aguas subterráneas representan en la Provincia de Córdoba un recurso natural inapreciable, debido principalmente a que las cuencas profundas de alta mineralización están aisladas del proceso bacteriológico y protegidas de la contaminación resultante de los núcleos urbanos. El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad del agua de los tres grandes acuíferos alojados dentro del paquete de sedimentos semiconfinados correspondientes a la región de la Cuenca del Río Tercero o Ctalamochita y su tendencia en un período de 10 años. Para ello se evaluaron parámetros físico químico y microbiológicos del agua de pozos subterráneos procedentes de dichos acuíferos, situados en la zona de la cuenca del Río Tercero o Ctalamochita. Se concluye que el agua de pozos pertenecientes a los tres grandes acuíferos semiconfinados presenta características similares, lo que concuerda con la calidad del agua de los acuíferos semiconfinados del sistema hidrológico correspondiente, siendo la concentración media de algunos iones presentes en el primer y segundo confinamiento superior a los valores hallados para el tercero, al cual puede inferirse una mayor calidad del agua, siendo estas características mantenidas en el período de 10 años en estudio, evaluado en este trabajo.*

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Características generales**

Dadas las especiales características hidrológicas presentes en la Provincia de Córdoba, con coexistencia de sequías e inundaciones, las demandas del recurso hídrico vinculadas al desarrollo económico social exigen una óptima utilización de las fuentes superficiales y subterráneas. Es necesario además considerar la protección y conservación de la calidad de estas fuentes de agua, procurando su aprovechamiento sustentable en el tiempo. Es por esta razón que en el empleo del recurso hídrico deben ser considerados algunos aspectos del suministro y disponibilidad, tanto en volumen como en calidad [1]

Considerandos aspectos relacionados con la calidad se puede afirmar que por lo general las cuencas profundas de alta mineralización están aisladas del proceso bacteriológico y protegidas de la contaminación resultante de la actividad antrópica que se presenta muy concentrada en los núcleos urbanos.

La estructura en bloques, fosas y pilares del Basamento Cristalino y el afloramiento del mismo en las sierras, permite distinguir varias cuencas hidrogeológicas. La cuenca Chaco-Paranense se divide en la Provincia en dos unidades bien definidas: la de Mar Chiquita y la de los ríos Tercero, Cuarto y Quinto [2]

Si se hace referencia a la aptitud de las aguas subterráneas exclusivamente en relación a su composición química, se puede realizar una zonificación tentativa y considerar la cuenca de los ríos Tercero, Cuarto y Quinto como cuencas de calidad Buena [3]

## 1.2 Zona en estudio

La ciudad de Villa María está inserta en la Región de la Pampa Central que ocupa la parte centro-oriental de la provincia de Córdoba, República Argentina.

En el presente trabajo se realizó una caracterización del multiacuífero confinado hallado entre los -30 m y -200 m aproximadamente.

Las muestras fueron tomadas de las perforaciones (pozos) existentes destinadas a abastecer de agua potable a la localidad de Villa María, que se encuentran diseminadas en la misma las cuales explotan los acuíferos confinados del sector aprovechando su alta productividad y buena calidad [4]. Dichas perforaciones se encuentran ubicadas en la margen izquierda del río Ctalamochita en localidad de Villa María (Figura 1).

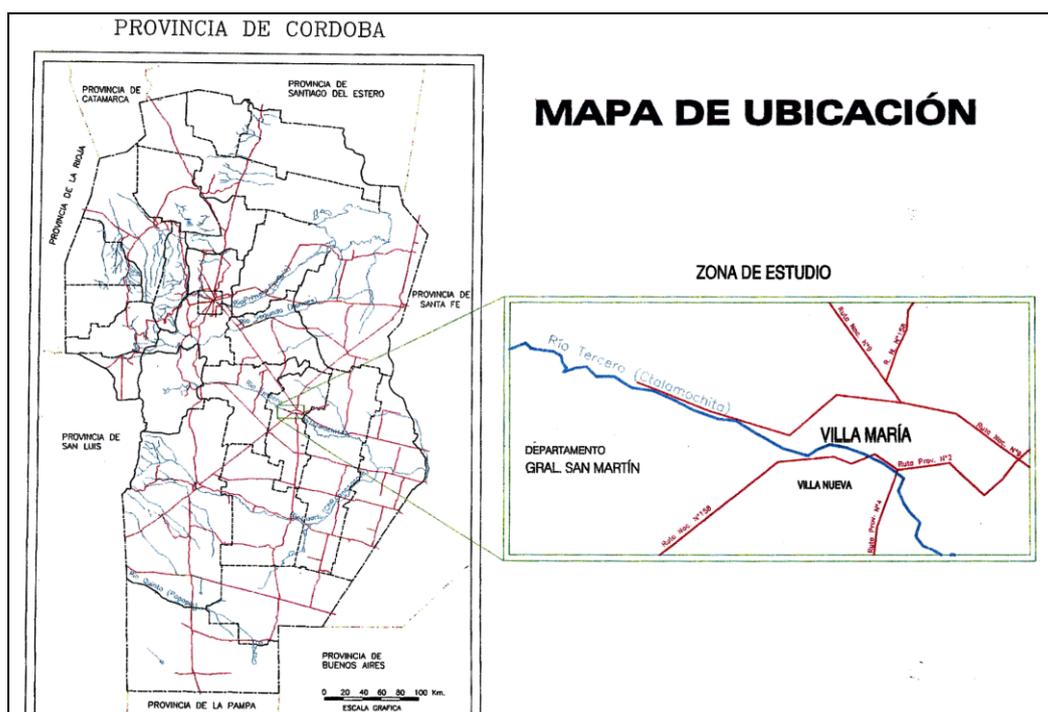


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona en estudio.

### 1.3 Caracterización Hidrogeológica de la zona en estudio

#### Geología y Geomorfología

La zona está inserta en la gran región de la Pampa Central, que en Córdoba ocupa la parte centro - oriental de la provincia.

Por la reactivación de geofracturas de rumbo general N-S que afectan a todo el territorio nacional, la llanura pampeana cordobesa se encuentra dividida en franjas longitudinales de constitución morfológica diferente.

Desde el punto de vista geomorfológico el área presenta un relieve muy plano, con una dirección de pendiente regional oeste noroeste - este sudeste [4].

En lo que respecta al curso del Río Ctalamochita, podemos decir que es el más caudaloso de los cinco ríos que cruzan nuestra provincia. En general, el comportamiento hídrico de la zona y en particular el del río desde el punto de vista morfogenético es muy débil y la reducida pendiente, con un cauce meandroso con pequeños bancos de arena y una vegetación arbustiva, estaría indicando una situación bastante estable en lo que se refiere a crecidas de importancia [4].

#### Hidrogeología

En la Cuenca del Río Tercero, dentro de la cual se encuentran las actuales captaciones de la zona estudiada, la circulación del agua subterránea a nivel regional es hacia el sudeste coincidiendo con la pendiente del terreno.

De acuerdo a la geología y teniendo en cuenta el comportamiento hidrogeológico del área, se han podido diferenciar una capa libre (freática) y tres grandes acuíferos alojados dentro del paquete de sedimentos correspondientes al Cuaternario, cuyas profundidades pueden verse en la Tabla 1.

Acuífero	Profundidad Media del Techo (m)	Espesor Medio (m)
Libre y / o Freático	5-7	2
II	51 - 60	25
III	95-110	10
IV	130-140	40

Tabla 1: Profundidades medias del techo de los acuíferos y su espesor medio [4]

El primero de ellos que se desarrolla sobre material psamítico, es de carácter libre, su techo acompaña la morfología de la superficie y aparece entre los -10 m y -40 m de profundidad. La capa freática es el acuífero más sensible a la contaminación debido a que está en contacto directo con la superficie, el grado de degradación de la misma estará en función del tipo de actividades que se desarrollen en ella [4].

La primera capa semiconfinada (II acuífero) está limitada, en su techo y base por sedimentos acuitardos. Se encuentra a profundidades de entre -50 m y -80 m dependiendo de la topografía del terreno.

El tercer acuífero de tipo semiconfinado, se halla a una profundidad promedio entre los -100 m y -115 m, desarrollándose en arenas con una granulometría de fina a media con un

porcentaje menor de arcilla que los anteriores; esto nos dice que dichos sedimentos han sido depositados por el río.

Según los sondeos eléctricos verticales realizados en el área, se hallaría el acuífero (V acuífero) más importante en cuanto a calidad y caudal ubicado en un paquete cuya profundidad promedio estaría entre los -130 m y -170 m, en el cual la fracción arena está presente en un alto porcentaje. Cabe destacar que la potencia y profundidad de los acuíferos está en íntima relación con la evolución del cauce del río [4].

La calidad de los acuíferos de acuerdo a los antecedentes que se disponen, presenta una composición apta para el consumo humano. La misma decrece a medida que nos aproximamos a la localidad de Villa María en razón de las causas hidrogeológicas dominantes en profundidad [5]

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.1. Muestras**

Las muestras fueron tomadas de las perforaciones (captaciones) existentes destinadas a abastecer de agua potable a la localidad de Villa María que se encuentran diseminadas en la misma, las cuales explotan los acuíferos semiconfinados del sector.

### **2.2 Métodos analíticos**

En la determinación los parámetros físico químico y microbiológicos analizados, se utilizaron los métodos del Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 18th y 21<sup>st</sup>, Edition 1992 y 2005 respectivamente [5].

### **2.3 Metodología**

Se evaluaron los datos provenientes de la totalidad de los pozos (19) pertenecientes al paquete de acuíferos confinados, evaluando sus características según los parámetros físico-químicos y microbiológicos, respecto de la normativa provincial vigente (Normas Provinciales de Calidad y Control de Aguas para Bebida), de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba (DIPAS) y su tendencia en 10 años.

Se realizó la selección de datos teniendo en cuenta las profundidades máximas de los pozos y las características de algunos valores físico-químicos indicadores del acuífero de mayor aporte, dando una clasificación tentativa de dichas muestras ya que cada pozo posee captaciones a distintas profundidades.

Para la evaluación de la calidad del agua se realizó el seguimiento en el período definido de Coliformes Totales y Bacterias Aerobias, como indicadores de la calidad bacteriológica, y de pH, Sólidos Totales, Dureza, Sulfatos, Nitratos, Nitritos, Flúor y Arsénico, como parámetros físico químicos a evaluar.

## **3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS**

### **3.1. Distribución de muestras de caracterización de los acuíferos**

Según las “profundidades medias del techo y el espesor medio” de los acuíferos confinados (Tabla 1) y las profundidades máximas de las captaciones, evaluadas

conjuntamente con las características de algunos valores físico-químicos indicadores del acuífero de mayor aporte, se realizó la clasificación de las mismas considerando que cada pozo posee captaciones a distintas profundidades (Tabla 2). Los acuíferos explotados actualmente se encuentran entre -58 m y -196 m de profundidad, cuyos caudales de explotación oscilan entre los 60 y 150 m<sup>3</sup>/h.

Acuífero confinado		Pozo N°						
N°	Profundidad techo (m)	(profundidad m)						
II	51-60	6 (58)	9 (90)					
III	95-110	11 (110)	13 (100)	14 (117)	15 bis (106)	101 (90)	103 (100)	104 (120)
IV	130-140	4 (143)	7 (130)	10 (130)	105 (140)	16 (120)	17 (111)	18 (116)
V	130-170	8 bis (196)	17 bis (185)	19 bis (170)				

Tabla 2: Clasificación de los pozos según las profundidades de los acuíferos semiconfinados y las profundidades máximas de las captaciones de los pozos evaluados.

### 3.2. Aspectos microbiológicos

Según el muestreo realizado en los 19 pozos de captación de los acuíferos confinados en 10 años de seguimiento, se obtuvieron un total de 512 muestras evaluadas bacteriológicamente, de las cuales 480 (94 %) arrojaron resultados <2 NMP/100ml para coliformes fecales dando un promedio de 2,32 bacterias en el total de muestras (tabla 3). En cuanto las bacterias aerobias, de la misma población de muestras totales se presentaron 195 muestras con resultados <1 ufc/100ml (38%), y 438 muestras dieron valores <100 ufc/100ml (85%) con un valor promedio de 9,27 (tabla 4).

AÑOS	Límite (Norma DIPAS)	Número total de Muestras	N° de muestras <2 NMP/100ml	Promedio NMP/100ml
2001 a 2010	<2 (NMP/100ml)	512	480	2,32

Tabla 3: Resultados de Coliformes totales en muestras de agua de pozo.

AÑO	Límite (DIPAS)	Número total de Muestras	N° de muestras <1 ufc/ml	N° de muestras <100 ufc/ml	Promedio (ufc/ml)
2001 a 2010	100 ufc/ml	512	195	438	9,27

Tabla 4: Resultados de Recuento De Microorganismos Heterótrofos a 37°C en muestras de agua de pozo.

Por otra parte no se observa una tendencia definida, a través de los 10 años evaluados (ver tabla 5) presentándose los valores de recuentos de mayor orden distribuidos en forma azarosa, lo que indicaría que dicho comportamiento puede responder a contaminaciones relacionadas con las cañerías en su tramo de toma de muestra. No se observan diferencias significativas entre los resultados anuales de los distintos acuíferos. En el caso del acuífero más profundo, se tienen datos del período 2008 -2010, ya que los pozos poseen esa antigüedad, no contando con

datos anteriores. Esto condice con la calidad bacteriológica esperada según Reyna [1] y los trabajos ya realizados en este laboratorio [6].

Año	Acuífero							
	Coliformes Totales (NMP/100ml)				Bacterias Aerobias (ufc/ml)			
	II (2°)	III (3°)	IV (4°)	V (5°)	II (2°)	III (3°)	IV (4°)	V (5°)
2001	0	0	1	--	2	10	9	--
2002	0	0	2	--	12	2	4	--
2003	0	1	3	--	10	4	1	--
2004	0	0	0	--	2	1	2	--
2005	0	0	0	--	3	2	15	--
2006	0	1	0	--	0	5	7	--
2007	0	0	0	--	10	18	36	--
2008	0	1	0	0	2	22	24	5
2009	0	0	0	0	1	6	2	2
2010	0	0	0	1	3	3	15	27

Tabla 5: Promedios anuales de Coliformes Totales y Bacterias Aerobias a 37°C en acuíferos confinados.

### 3.3. Aspectos físico químicos

Realizada la evaluación de los parámetros físico químicos para el total de datos (446 muestras) en los 10 años evaluados, se observa en la tabla 6 que los promedios de dichos parámetros no superan los límites fijados por la legislación provincial (DIPAS).

Parámetro	Límite de la DIPAS	Promedio Total de datos
pH	PHs $\pm$ 1,0	7,64
Sólidos Totales (mg/l)	Máximo 2000	419,24
Dureza (mg/l)	Máximo 500	89,66
Sulfatos (mg/l)	Máximo 400	53,10
Nitratos (mg/l)	Máximo 45	13,04
Nitritos (mg/l)	Máximo 0,1	0,006
Flúor (mg/l)	Mínimo 0,7- Máximo 1,2	1,05
Arsénico (mg/l)	Máximo o Límite Tolerable: 0,10 Aceptable: 0,05 Aconsejable, Ideal o Meta a alcanzar: 0,01	0,026

Tabla 6: Límites de la DIPAS y promedios obtenidos para el total de datos en los parámetros evaluados.

Si se analizan las medias geométricas de los promedios para cada acuífero en el período evaluado (ver tabla 7), los valores encontrados para sólidos totales, sulfatos, nitratos y nitritos son mayores en el 3° acuífero (resaltados en rojos), correspondiendo los valores más bajos para el 4° acuífero (resaltados en verde). En cuanto a la dureza se encontraron valores mayores en el 5° acuífero (tabla 7 y figura 2).

En tanto que en los valores de flúor y arsénico se encontraron los máximos valores

promedio para el 4° acuífero y los menores para el 5° acuífero (tabla 7 y figura 2).

Parámetro	Acuífero (Medias de promedios anuales)			
	2°	3°	4°	5°
pH	7,62	7,57	7,67	7,33
Sólidos Totales (mg/l)	418,70	<b>490,84</b>	<b>390,12</b>	447,56
Dureza (mg/l)	83,77	105,75	<b>81,98</b>	<b>128,80</b>
Sulfatos (mg/l)	53,50	<b>65,66</b>	<b>48,59</b>	53,45
Nitratos (mg/l)	9,43	<b>25,62</b>	<b>4,06</b>	5,35
Nitritos (mg/l)	0,005	<b>0,006</b>	0,005	0,005
Flúor (mg/l)	1,07	0,95	<b>1,14</b>	<b>0,73</b>
Arsénico (mg/l)	0,02	0,02	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>

Tabla 7: Medias geométricas de los promedios anuales para cada acuífero.

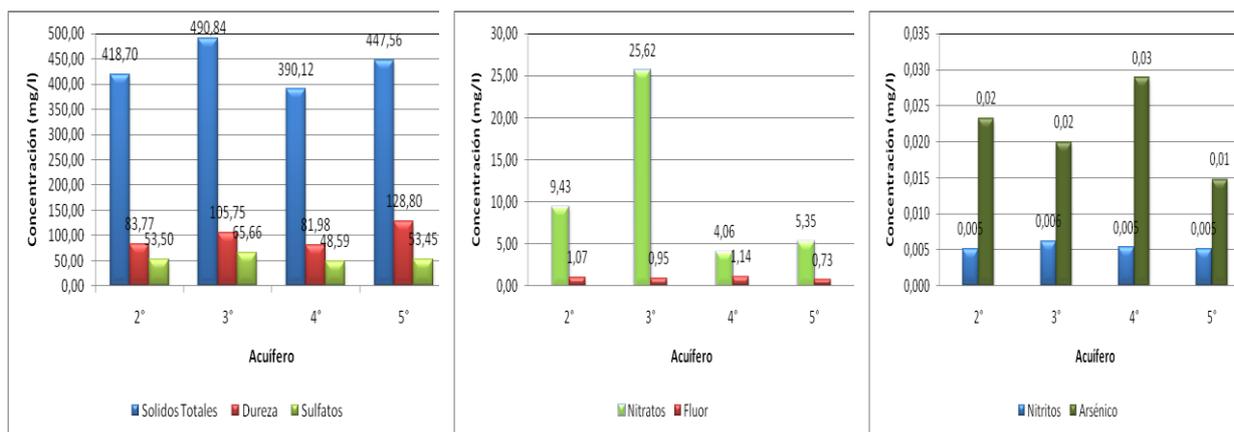


Figura 2: Comparación de parámetros Físico Químicos de cada los acuífero.

En la figura 3 de la página siguiente, se observa el comportamiento de cada acuífero en los 10 años evaluados.

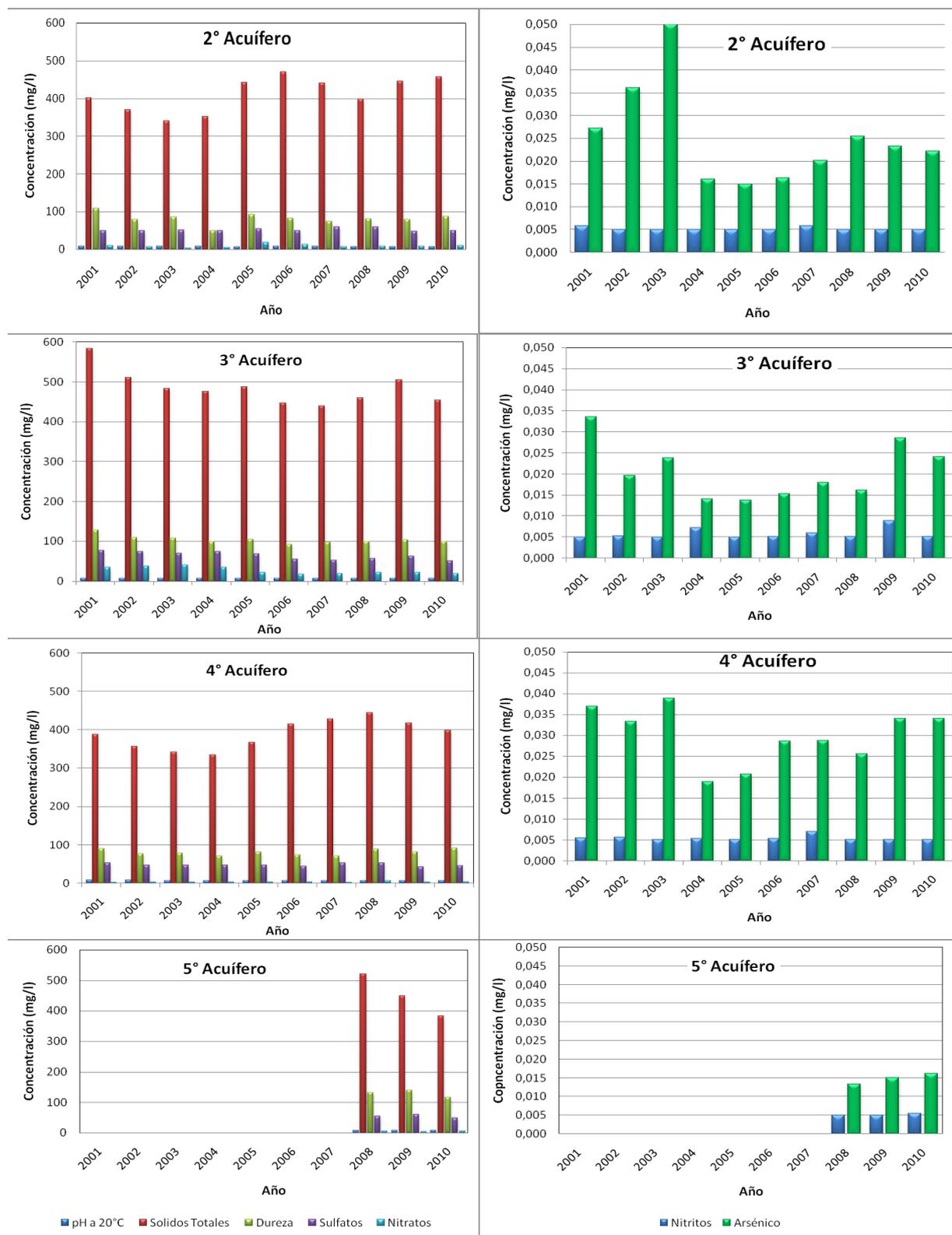


Figura 3: Parámetros físico químico de cada aquífero y su seguimiento en 10 años.

Se puede observar en la figura 3 que el comportamiento de estos parámetros es variable, presentando máximos y mínimos en este período en estudio que aparecen en forma cíclica, sin inferir un comportamiento con una tendencia definida. Esto podría estar asociado a factores relacionados con promedios anuales de lluvia, variaciones anuales en niveles del río Ctalamochita, etc. que podría investigarse en trabajos posteriores.

#### 4. CONCLUSIONES

De la evaluación de datos correspondiente al muestreo realizado en los 19 pozos de captación de los acuíferos confinados, con profundidades entre -58 m y -196 m, en un período de 10 años de seguimiento, se realizan las siguientes conclusiones:

- Del total de muestras evaluadas bacteriológicamente (512 muestras), para el análisis de Coliformes Fecales el 94 % arrojaron resultados menores al límite establecido por la legislación provincial vigente [7] de <2 NMP/100 ml. En cuanto las bacterias aerobias mesófilas un 38% presentaron resultados <1 ufc/100ml, y un 85 % (que incluye los resultados <1 ufc/100ml) dieron valores <100 ufc/100ml establecido como máximo por dicha legislación.
- No se observa una tendencia en la variación de esta calidad bacteriológica a través de los 10 años evaluados, presentándose algunos valores de recuentos de mayor orden distribuidos en forma azarosa, lo que podría indicar que dicho comportamiento responde a contaminaciones relacionadas con las cañerías en su tramo de toma de muestra. Esto condice con la calidad bacteriológica esperada según Reyna [1] para cuencas profundas de alta mineralización, como en este caso, aislada del proceso bacteriológico y protegida de la contaminación resultante de la actividad antrópica y con trabajos ya efectuados en este laboratorio [6].
- Realizada la evaluación de los parámetros físico químicos para el total datos (446 muestras) en los 10 años evaluados, se observa que los promedios de encontrados para sólidos, sulfatos, nitratos, nitritos, flúor y arsénico, no superan los límites máximos fijados por la legislación provincial (DIPAS) [7]. Esto concuerda con la calidad del agua esperada según sistema hidrológico el que corresponden dichos acuíferos confinados, perteneciente a cuenca del río Tercero o Ctalamochita [3].
- La concentración media de algunos iones presentes en el primer y segundo confinamiento (II y III acuífero respectivamente) superior a los valores hallados para el tercero (IV acuífero), al cual puede inferirse una mayor calidad del agua que los dos anteriores. Al respecto, se observa que valores encontrados para sólidos, sulfatos, nitratos y nitritos son mayores en el III acuífero confinado, correspondiendo los valores más bajos al IV confinamiento. En cuanto a la dureza fueron mayores en el V acuífero.
- En los parámetros flúor y arsénico se encontraron los máximos valores promedio para el IV acuífero y los menores para el V acuífero. Esto confirma que si se tienen en cuenta estos parámetros como referentes de calidad, podría considerarse como el acuífero más importante en cuanto a calidad y caudal [4].

#### REFERENCIAS

[1] Reyna S., *Plan de gestión de los recursos hídricos de la Provincia de Córdoba*,

- Argentina, Banco Interamericano de Desarrollo, (2005).
- [2] Vázquez, J. B., Miatello, R. A., Roqué, M. E., *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*, Editorial Boldt, Argentina, (1979).
- [3] Moyano M., Leynaud, J., *Aguas Subterráneas para Riego en la Provincia de Córdoba*, Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Córdoba. Argentina, (1992).
- [4] *Evaluación Del Recurso Hídrico Subterráneo en las Proximidades de Villa María*, Dirección de Agua y Saneamiento de Córdoba, D.A.S., (1998).
- [5] APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> y 21<sup>st</sup>, (1992 y 2005).
- [6] Marín G, Moyano S., Brussa D., Debernardi A., Pegoraro L., Farías M.. *Calidad del agua de pozos de provisión a la ciudad de Villa María- Córdoba, Argentina*.
- [7] Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba, *Normas Provinciales De Calidad Y Control De Aguas Para Bebida*, Vol.1 (1993).

## ORIGEN DE LA CONTAMINACION POR NITRATOS DEL AGUA SUBTERRANEA EN SALSIPUEDES – CORDOBA.

López, Claudia G. \* y Macaño, Héctor R.

Servicios de Ingeniería Química y Ambiental (SIQA)

Facultad Regional Córdoba

Universidad Tecnológica Nacional.

Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba. Tel:+54.0351 . 598-6000

e-mail: clau1\_lopez@yahoo.com.ar

e-mail: hmacano@quimica.frc.utn.edu.ar

**Palabras clave:** agua subterránea, contaminación, nitratos, análisis multivariados.

**Resumen.** *El estudio de la calidad del agua subterránea cobra importancia ya que es la principal fuente de abastecimiento en zonas áridas, semiáridas y aún en las húmedas. Salsipuedes en la provincia de Córdoba, presenta en algunos pozos de abastecimiento concentraciones de nitrato mayores a 45mg/L, valor máximo aceptable, establecido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba.*

*Con el objeto de distinguir las fuentes que aportan nitrato al agua subterránea, se midió un conjunto de parámetros fisicoquímicos obtenidos en muestreos realizados entre Agosto de 2009 y Septiembre de 2010. Se utilizó el método de Análisis por Factores para diferenciar el impacto de las fuentes naturales y antropogénicas. Se llevó a cabo un Análisis por Cluster de todos los pozos para observar si los agrupamientos que se obtienen permiten detectar comportamientos similares entre las distintas perforaciones. Con los resultados obtenidos del Análisis Factorial, y teniendo en cuenta también, el uso de suelo, la falta de saneamiento adecuado, podría deducirse que la contaminación observada es producida por actividades antrópicas. Del Análisis de Cluster se obtuvieron dos agrupamientos, uno que reúne los pozos contaminados y el otro los no contaminados.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Salsipuedes es una localidad de Córdoba, cuyo abastecimiento de agua se realiza exclusivamente a través de la explotación de las perforaciones que extraen agua subterránea del freático. La Municipalidad explota 8 pozos, de los cuales la mitad tiene concentraciones de nitrato por encima de los 45mg/L. Esta localidad presentó en los últimos años un crecimiento poblacional y urbanístico importante. En el año 2001, el INDEC determinó que el número de habitantes era 6.411, incrementándose a 8.992 según el censo provincial del año 2008. Datos suministrados por las autoridades de la Municipalidad de Salsipuedes revelan que el número de habitantes estables en el año 2010 alcanza los 10.000, con un aumento de población del 30% de población durante los meses de verano. A pesar de este crecimiento, tanto en el número de habitantes, como en el desarrollo de zonas urbanizadas, no se llevó a cabo ningún emprendimiento de infraestructura básica de saneamiento. La disposición de efluentes domiciliarios como cloacales, está limitada a pozos absorbentes o sangrías.

La principal actividad económica de Salsipuedes es el turismo, no es zona agrícola – ganadera y tampoco industrial.

Dada la variedad de fuentes que pueden aportar nitratos, como la gran solubilidad del mismo en el agua, éste se presenta como uno de los mayores contaminantes de aguas subterráneas y superficiales. El nitrato en el agua subterránea puede proceder de diversas fuentes. Se origina a partir de fuentes intensas localizadas (industrias químicas, campos permeables), fuentes difusas (parques y jardines, deposición atmosférica) y fuentes multipuntos (fugas del sistema de cloacas, pozos absorbentes y efluentes domiciliarios) [1].

Existen numerosos estudios sobre los efectos adversos que los nitratos producen en la salud humana y animal. Las principales enfermedades que produce son: la metahemoglobinemia, [2-3]; el cáncer gástrico y el linfoma de non – Hodkin [3-4].

Los métodos de análisis de datos multidimensionales se emplean en estudios ambientales por su utilidad en trabajar con datos complejos. En estudios de aguas subterráneas se usan entre otros, el Análisis por Factores y el Análisis por Cluster.

La ventaja del Análisis por Factores se aprecia en el análisis de interrelaciones entre un número elevado de variables explicándolas en términos de un número menor de variables denominadas Factores o Variables Subyacentes [5]. Es muy útil en la interpretación de datos de calidad de agua para la comprensión de procesos hidrogeoquímicos específicos [6-7], empleándose con buenos resultados para distinguir entre las contribuciones antrópicas de las naturales, y de las de origen hidrogeológico al estudio de la calidad del agua subterránea [7].

El objetivo del Análisis por Cluster es clasificar en grupos homogéneos un conjunto de individuos o variables por algún criterio de homogeneidad, de manera que los individuos o variables pertenecientes a un Cluster sean tan similares entre sí como sea posible, siendo los distintos grupos o Clusters entre ellos tan disimilares como también sea posible [5].

El propósito de este trabajo es identificar las posibles fuentes que aportan nitrato al agua subterránea usada para abastecimiento de la población de Salsipuedes, en la provincia de Córdoba, a través del empleo del método estadístico de Análisis por Factores.

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La localidad de Salsipuedes se ubica en el paralelo 31° 08' 66" de latitud S y 64°19' 00" longitud O, en las estribaciones orientales de las Sierras Chicas de Córdoba. Abarca una superficie aproximada de 100 km<sup>2</sup> con una altitud media de 744 msnm. Las condiciones climáticas permiten definir a la región como subhúmeda a semiárida, con una precipitación media anual de 800 mm [8]. En función de la distribución de las precipitaciones, se puede definir una estación húmeda que se extiende desde noviembre a marzo y concentra más del 80 % de las lluvias, y una estación seca con escasas precipitaciones que abarca los meses de abril a octubre. La zona se caracteriza por un clima templado, con temperaturas medias anuales entre 16 y 18°C. La temperatura máxima media anual es de 24°C y la mínima media anual de 10°C y vientos predominantes del sudoeste [9] (Figura 1).

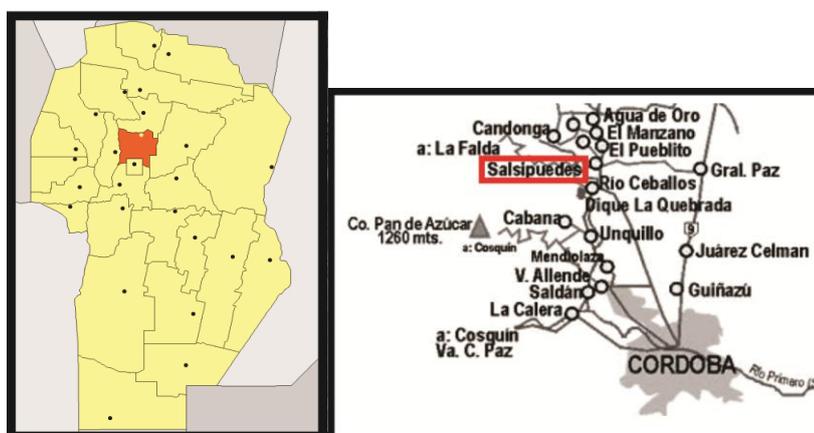


Fig. 1: A) Dpto. Colón en la provincia de Córdoba. B) Ubicación de Salsipuedes respecto a Córdoba.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Muestreo y técnicas de análisis

Las muestras de agua subterránea para este estudio se recolectaron de los pozos de producción que utiliza la Municipalidad para abastecimiento de la población, entre Agosto del 2009 y Setiembre del 2010. Los mismos se encuentran en el ejido municipal, en su mayoría en zonas urbanas. Se georeferenciaron con GPS y se los enumeró tal como se observa en la Figura 2.

Las muestras se tomaron en las llaves de las tuberías de desagüe de las perforaciones, con las bombas en funcionamiento. En algunos muestreos, las bombas se encontraban apagadas y se procedió a la purga de la cañería. Este procedimiento consiste en sacar agua del pozo, bomba y tubería, para que el agua extraída represente las condiciones reales del acuífero. La purga se finalizaba cuando los parámetros pH, temperatura y conductividad eléctrica alcanzaban valores estables, después de tres lecturas consecutivas [10].

Las muestras almacenadas y refrigeradas a 4°C aproximadamente, se trasladaron y analizaron en el laboratorio perteneciente al SIQA (Servicio de Ingeniería Química y Ambiental), de la Facultad Regional Córdoba.

Los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{NH}_4^+$  y los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{SO}_4^{-2}$ , se midieron por cromatografía iónica, con un Cromatógrafo Iónico 761 COMPACTC, marca Metrómetro. Los parámetros pH, conductividad eléctrica y temperatura se midieron con un equipo multiparamétrico ADWA AD 8000. Las técnicas utilizadas para la evaluación de los distintos parámetros son las recomendadas por EPA (Environmental Protection Agency), ASTM (American Society for Testing and Material) y APHA (Standar Methods for the examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> edition)

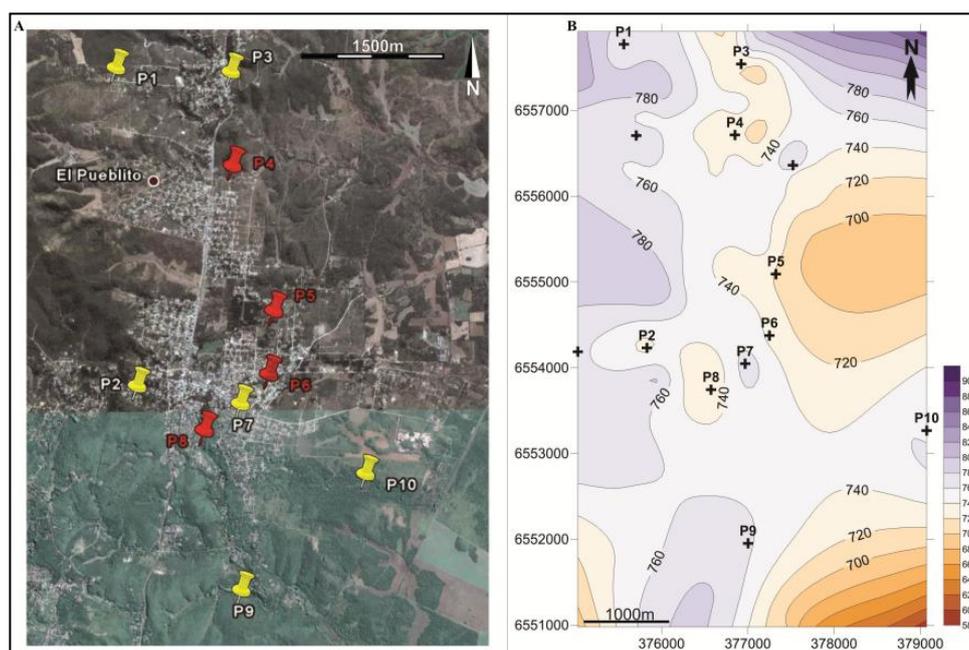


Fig. 2: (A) Pozos de producción indicados sobre imagen satelital de Salsipuedes – (B) Pozos de producción indicados sobre mapa de relieve expresado en m.s.n.m.

Se trabajó con el porcentaje de error analítico admisible, que se obtiene de la relación conductividad – error admisible, [11]. El porcentaje de error se calcula por la ecuación de balance iónico, desestimándose aquellas muestras cuyo error admisible superó al mostrado en la Tabla 2.

Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	50	200	500	2000	>2000
Error admisible (%)	30	10	8	4	4

Tabla 2: Errores admisibles en función de conductividad eléctrica.

### 3.2 Caracterización hidroquímica del agua subterránea

Se utilizó el software AQUACHEM para la caracterización hidroquímica del agua y se representaron las distintas familias de agua subterránea con diagramas de Piper.

### 3.3 Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos, el Análisis Factorial, el Análisis de Cluster se realizaron con el software STATISTICA® versión 8.0 de STATSOFT.Inc.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra la estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos medidos en 53 muestras de agua subterránea. La mayor variabilidad la presenta el  $\text{NO}_3^-$ , seguido por  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , lo cual refleja la variación espacial de la calidad del agua subterránea en la zona de estudio.

Parámetros	Número de muestras	Media	Desvi.Estandar	Mínimo	Mediana	Máximo
$\text{NO}_3^-$	53	37.6502	29.5479	1.8700	24.9600	115.410
$\text{Cl}^-$	53	24.2538	13.5411	6.5100	24.5600	66.080
$\text{SO}_4^{2-}$	53	23.1428	12.5900	7.6800	21.8300	67.070
$\text{F}^-$	53	0.6843	0.3507	0.1600	0.5300	1.530
$\text{HCO}_3^-$	53	491.9182	107.4516	274.5615	480.2252	647.489
$\text{Na}^+$	53	48.2798	29.4331	17.8800	33.8400	115.710
$\text{K}^+$	53	6.1032	3.0625	1.7200	5.8200	13.100
$\text{Mg}^{+2}$	53	21.6857	6.7011	8.7000	23.0900	36.570
$\text{Ca}^{+2}$	53	106.7257	22.3493	60.5400	107.3900	150.300
CE	53	705.4717	184.8744	378.0000	705.0000	1013.000
Dureza	53	358.2028	77.3008	186.9400	365.9100	487.500
pH	53	7.2204	0.4145	6.5200	7.1870	8.410
SDT	53	504.3208	165.4712	244.0000	500.0000	1260.000

Tabla 3: Estadística descriptiva de la composición química del agua subterránea

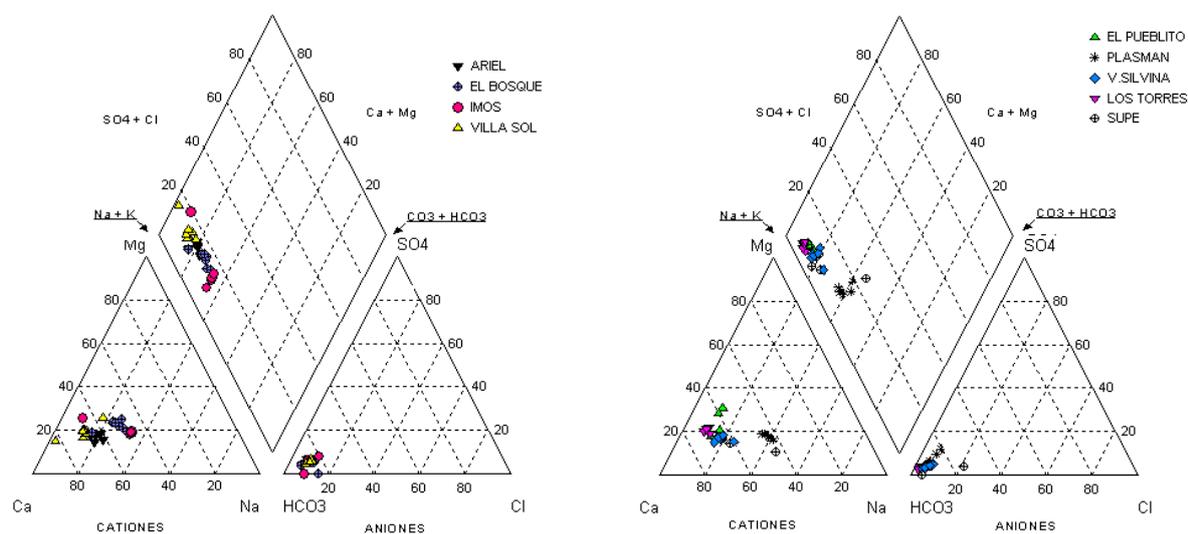


Fig. 3: Diagramas de Piper mostrando las familias hidroquímicas del agua subterránea en el área

En la Figura 3 se muestran los diagramas de Piper, uno para los pozos contaminados y otro para los no contaminados. Las familias hidroquímicas de las muestras en estudio varían de aguas Ca- HCO<sub>3</sub> a Ca-Mg- HCO<sub>3</sub> y Ca-Na- HCO<sub>3</sub>. Se observa en el diagrama de pozos contaminados que el porcentaje de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup> es un poco mayor que en los pozos no contaminados, sin embargo no se puede apreciar si la hidroquímica del agua está controlada por procesos naturales o por contribuciones antrópicas

#### 4.1 Evaluación de las distintas contribuciones al agua subterránea por Análisis de Factores

La composición química de las aguas subterráneas es el resultado de los procesos naturales de la interacción agua suelo y agua roca, de las contribuciones atmosféricas y antropogénicas. Para diferenciar los distintos procesos se llevó a cabo un Análisis Factorial. Las variables utilizadas para el Análisis Factorial son Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, C.E (conductividad eléctrica) y pH. La Tabla 4 muestra la matriz de correlación de las 10 variables. El número máximo de Factores a ser extraídos se fijó por el criterio Kaiser, que sólo tiene en cuenta los Factores cuyos autovalores son mayores a 1 [12].

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	CE	pH
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.000									
Cl <sup>-</sup>	0.663	1.000								
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0.601	0.620	1.00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.690	0.627	0.786	1.000						
Na <sup>+</sup>	0.500	0.643	0.803	0.678	1.000					
K <sup>+</sup>	0.589	0.605	0.629	0.661	0.692	1.000				
Mg <sup>+2</sup>	0.647	0.538	0.563	0.854	0.451	0.729	1.000			
Ca <sup>+2</sup>	0.504	0.413	0.412	0.728	0.060	0.195	0.619	1.000		
CE	0.652	0.753	0.803	0.913	0.755	0.674	0.739	0.605	1.000	
pH	-0.229	-0.272	0.624	-0.502	-0.195	-0.221	-0.530	-0.455	-0.497	1.000

Tabla 4: Matriz de correlación entre los constituyentes químicos de las muestras de agua

El Análisis Factorial se efectuó usando el método de extracción de componentes principales y rotación de matriz por Varimax normalizado. El resultado de este procedimiento fue la extracción de 2 Factores que explican el 79,49709% del total de la varianza, como se muestra en la Tabla 5. Los cálculos se realizaron con los logaritmos de los datos fisicoquímicos

Estos Factores con diferente peso sobre cada una de las variables analizadas indican las diferentes contribuciones a la composición química del agua, si se asocian al uso del suelo y a las fuentes que aportan los distintos iones.

El peso del Factor 1 se acentúa en los iones Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y C.E. El área en estudio no es agrícola – ganadera ni industrial, la presencia de zonas urbanizadas es importante, los efluentes cloacales y domiciliarios son recolectados en pozos sépticos y sangrías. Si, además se tiene en cuenta que el ión NO<sub>3</sub><sup>-</sup> puede provenir de efluentes industriales, tanques sépticos y/o uso de fertilizantes, que la deposición atmosférica no se considera una fuente importante de aporte de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al agua subterránea y tampoco se conocen fuentes litológicas del mismo [12]. El ión cloruro se relaciona con efluentes de tipo industrial,

fertilizantes y tanques sépticos y fuentes naturales tales como la lluvia y  $Cl^-$  relacionados a minerales [12]. Las fuentes de  $SO_4^{-2}$  incluyen: disolución de yeso, fertilizantes, efluentes de aguas servidas, disolución de minerales de sulfuro presentes en el granito y lluvia [12]. El  $Na^+$  en las aguas subterráneas puede ser aportado por el intercambio iónico entre el  $Ca^{+2}$  del agua y el sodio contenido en las arcillas, la disociación de algunos minerales del granito, fertilizantes químicos, efluentes domésticos y deposiciones atmosféricas [12]. Las fuentes de  $K^+$  y de  $Na^+$  coinciden, con la excepción de las deposiciones atmosféricas [12-13], pero el contenido en  $K^+$  del agua subterránea es notoriamente inferior al del  $Na^+$ , pese a que en la corteza se presentan en proporciones similares, porque el primero es fijado por la estructura cristalina de las arcillas. Se asocia al Factor 1 con actividades humanas, lo que estaría sugiriendo que la presencia de nitratos en el agua subterránea se debe a efluentes cloacales y domiciliarios

Variable	Factor 1	Factor 2
$Na^+$	0,943634	0,054601
$K^+$	0,834533	0,141515
$Mg^{+2}$	0,510050	0,757470
$Ca^{+2}$	0,205963	0,894830
$Cl^-$	0,824699	0,332744
$SO_4^{-2}$	0,830712	0,411158
$NO_3^-$	0,635602	0,405822
$HCO_3^-$	0,642322	0,726593
C.E	0,727594	0,617561
pH	-0,062093	-0,767430
% Varianza explicada	66,29698	13,20011
% Varianza acumulada	66,29698	79,49709

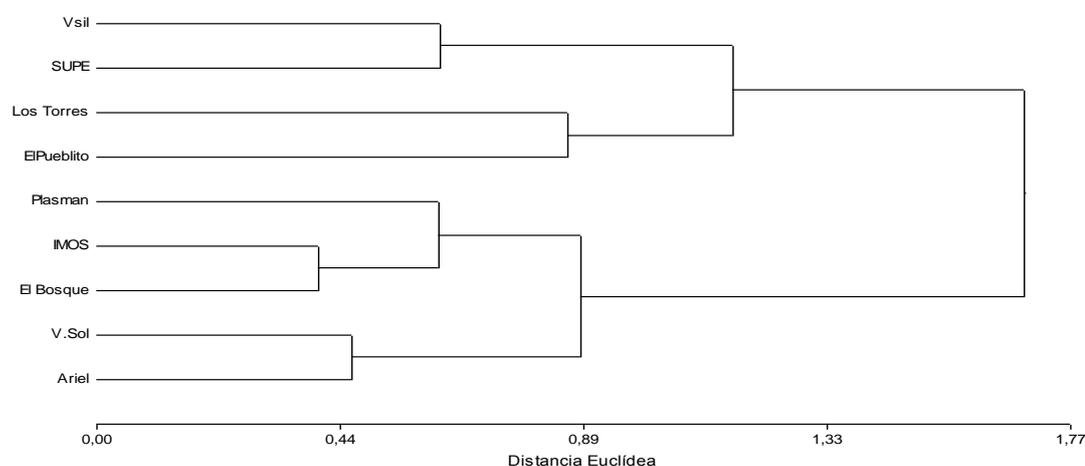
Tabla 5: Matriz de Factores después de la rotación Varimax

El Factor 2 influye positivamente sobre los iones  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $HCO_3^-$ . El  $Ca^{+2}$  puede provenir de la disociación de minerales carbonatados (calcita) y de las plagioclasas cálcicas, aplicación de fertilizantes, descarga de efluentes domésticos y el hormigón de las construcciones. La fuente de  $Mg^{+2}$  está asociada a la disociación de minerales carbonatados (dolomita) y de anfíboles, piroxenos y olivinos. Los iones  $HCO_3^-$  provienen de la disociación de minerales carbonatados y de la disolución del  $CO_2$  presente en el horizonte A en el suelo, debido a la fuerte actividad biológica que lo caracteriza. Además el suelo del área de estudio se caracteriza por la presencia de minerales carbonáticos, llamados calcretas. Se asocia este Factor a la interacción agua –suelo y agua –roca.

#### 4.2 Análisis por Cluster

Se llevó a cabo un análisis de conglomerados o cluster sobre las distintas perforaciones, tomando la distancia euclídea y el método de unión encadenamiento promedio (UPGMA), con estandarización de datos. El dendograma obtenido se muestra en la Figura 4. Se supone que la proximidad espacial de las muestras en el espacio de las perforaciones refleja la similitud de sus propiedades. Así, a la distancia 1,33 se obtienen dos clusters. El primero agrupa los pozos no contaminados y el segundo los contaminados y la perforación Plasman que no presenta niveles de contaminación por nitratos. Esto encuentra explicación en que el agua de este pozo

tiene un largo período de residencia, pues los valores de cloruro son más altos que los que



presentan las perforaciones no contaminadas.

Fig. 4: Agrupamiento de perforaciones en contaminadas y no contaminadas.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados del Análisis Factorial indican que los iones,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en el agua subterránea en estudio provienen de fuentes relacionadas a las actividades humanas. En este caso particular estarían relacionados a los efluentes cloacales y domiciliarios debido a la ausencia total de un sistema de recolección de efluentes y presencia de pozos sépticos y sangrías.

Los iones  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , se encuentran relacionados a la interacción agua – suelo y agua – roca.

El Análisis por Cluster realizado sobre las distintas perforaciones muestra que si bien se observa 2 grupos principales, que por un lado agrupa a los pozos contaminados y por el otro a los no contaminados, existen perforaciones que tienen comportamiento más similar entre sí que otras, y que esa relación no tiene que ver con la ubicación geográfica de las mismas. Sería conveniente continuar con estudios más profundos de cada perforación en particular.

Este estudio demostró que el Análisis Factorial y de Cluster son buenos métodos para demostrar que procesos influyen en la calidad del agua subterránea. Cabe resaltar que estos métodos no generan hipótesis ni dan resultados por sí mismos. La información que brindan dará respuestas, en tanto y en cuanto se analicen en forma conjunta con las características propias de cada área de estudio.

#### REFERENCIAS

- [1] Lerner, D. N., “Estimating urban loads of nitrogen to groundwater”. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management*. Vol.17, noviembre, pp 239-244,(2003).

- [2] Cynthia A, Voelker M, Lee Brown M, Roger M, Hinson M. “Preoperatively acquired methemoglobinemia in a preterm infant — case report” . *Pediatric Anesthesia*. Vol 12. Issue 3, pp:284–286, (2002).
- [3] Venkateswari R, Ganesh R, Deenadayalan M, Mahender E, Ramachandran B, Janakiraman L. “Transient methemoglobinemia in an infant”. *Clinic Brief* . Vol. 74, pp1037–8, (2007).
- [4] Weyer P, Cerhan J, Kross B, Hallberg G, Kantamneni J, Breuer G, Jones M, Zheng W, Lynch C. “Municipal drinking water nitrate level and cancer risk in older women: the Iowa Women's Health Study”. *Epidemiology*. Vol. 3, pp: 327-38, (2001).
- [5] Johnson, D.E., Métodos multivariados aplicados al análisis de casos. Edamsa S.A. de C.V, México, (2004).
- [6] Ragno, G.; De Kuca, M.; Ioele, G, “An application of cluster analysis and multivariate classification methods to spring water monitoring data”. *Microchemical Journal*. Vol. 87, diciembre, pp 119 – 127, (2007).
- [7] Jiang, Y.; Wu, Y.; Groves, C.; Yuan, D.; Kambesis, P., “Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China”. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol. 109, octubre, pp 49 -61, (2009).
- [8] Hoja Córdoba 3163-III.). Proyecto: Carta Línea Base Ambiental de la República Argentina, (2000).
- [9] Dargman R. M.; Herrero, S. A.; Pasquini, A. I., “Procesos de Meteorización química en una cuenca semiárida de montaña, Río Salsipuedes, Córdoba”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol.53, (4), pp 517-525, (1998).
- [10] DINAMA. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Versión 1, Julio, Montevideo, Uruguay, (2004).
- [11] Custodio, E.; Llamas, M. R., *Hidrología Subterránea*. Omega S.A. Barcelona, España, (1976).
- [12] Valdes,D.; Dupont, J. P. ; Laignel, B.; Ogier, S.; Leboulanger, T.; Mahler, B. J., “A spatial analysis of structural controls on Karst groundwater geochemistry at regional scale”. *Journal of Hydrology*. Vol. 340, julio, pp 244 – 255, (2007).
- [13] Edmunds,W. M.; Shand, P.; Hart, P.; Ward, R. S. “The natural (baseline) quality of groundwater: a UK study”. *Science of the Total Environment*. Vol. 310, julio, pp 25 - 35, (2003).



## EVOLUCIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SURESTE DE LA PLATA (PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

Laurencena, Patricia<sup>1</sup>; Deluchi, Marta<sup>1</sup>; Rojo, Adolfo<sup>1</sup>; Carol, Eleonora<sup>1</sup>; Kruse, Eduardo<sup>1</sup>; Bazán, José Manuel<sup>2</sup>; Alberino, Juan Carlos<sup>2</sup>; Varriano, Nicolás<sup>2</sup>; Cariello, Jorgelina<sup>2</sup>

1: Cátedra de Hidrología  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
Universidad Nacional de La Plata  
64 y 120 N°3 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: plauren@fcnym.unlp.edu.ar, kruse@fcnym.unlp.edu.ar

2: Grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS) y el Grupo de Estudio del Trabajo y la Producción (GETyP)  
Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
60 y 124 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: ecass@frlp.utn.edu.ar, varriano@frlp.utn.edu.ar, cariello@frlp.utn.edu.ar

**Palabras clave:** agua subterránea, calidad química, acuífero freático.

**Resumen.** *Las características químicas constituyen un condicionante fundamental para determinar el uso del agua subterránea. En el SE de la ciudad de La Plata existe un sector en el que se produce una competencia de uso del recurso entre consumo humano y riego tanto desde el punto de vista de la cantidad como de la calidad del agua subterránea. El objetivo de este trabajo es analizar la calidad y la evolución química del agua subterránea desde 1987 a la actualidad. La zona de estudio se halla a unos 5 km del ejido urbano, se trata de un ambiente de llanura con suaves ondulaciones, de clima húmedo en donde se distinguen zonas con predominio de infiltración, y zonas favorables para el escurrimiento superficial. Pertenece a la cuenca del Arroyo El Pescado y la principal actividad que se desarrolla se relaciona con la ganadería y agricultura de carácter extensivo. Se observa que la evolución química del agua subterránea está condicionada por los cambios de uso del suelo, por la mayor explotación del recurso hídrico y por el desarrollo económico de la región.*

### 1. INTRODUCCION

La cátedra de Hidrología General ha establecido en la cuenca del Arroyo El Pescado, un área experimental donde estudiar los procesos hidrológicos y sus particularidades que opera desde 1987 hasta la actualidad. En la cuenca se encuentra instalada una red de monitoreo de agua superficial y subterránea que consta de 35 pozos freáticos y 6 sitios en el curso para mediciones y muestreos. La información hidrodinámica obtenida periódicamente,

conjuntamente con el análisis de los datos de precipitación en La Plata han permitido la elaboración e interpretación de las variaciones de los niveles freáticos y su influencia en la recarga y descarga del agua subterránea.

La cuenca del Arroyo El Pescado se ubica a unos 5 Km de la ciudad de La Plata y abarca un área aproximada de 400 km<sup>2</sup>, ocupando los partidos de La Plata y Magdalena.

Se caracteriza en general por ser un área de escasa modificación antrópica excepto en el sector de cabeceras, en donde, en la última década la expansión de la urbanización y del desarrollo agrícola ha dado lugar a una competencia por el uso de la tierra y consecuentemente el uso del agua [1]. El objetivo de este trabajo es analizar la calidad y la evolución química del agua subterránea desde el año 1987 a la actualidad

## 2. CARACTERISTICAS DEL ÁREA

La cuenca del Arroyo El Pescado está ubicada en el litoral del Río de La Plata y es parte integrante de la región hidrológica del Noreste según la sistematización efectuada para la provincia de Buenos Aires por Sala et al.(1983)[2]. El clima es de tipo “húmedo, mesotermal con nula o pequeña deficiencia de agua y baja concentración térmica estival” cuya notación es B<sub>1</sub>B<sub>2</sub> ra [3]. En los ámbitos de llanura, como es el caso de la Cuenca del Arroyo El Pescado se reconoce el predominio de los movimientos verticales del agua (infiltración-evapotranspiración) sobre los movimientos horizontales (escurrimientos) existiendo además una estrecha interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas. Un balance hidrológico general en sus términos medios para esta cuenca indica una precipitación media de 1060 mm/año y una evapotranspiración real, obtenida a partir del balance hídrico a nivel del suelo [4] de 783 mm/año. El escurrimiento fluvial estimado es de 53 mm/año, mientras que la infiltración es de 224 mm/año. Desde un punto de vista geomorfológico el área se encuentra ubicada en una llanura de suave pendiente regional hacia el NE, del orden de 0,001, dentro del ámbito de la Pampa Ondulada [5]. En este paisaje se puede diferenciar, tanto en lo referente a su génesis como a su forma, dos unidades morfológicas: Zona Interior y Planicie Costera [6]. Ver Figura 1.

La Planicie Costera comprende una faja de 5 a 8 Km de ancho dispuesta en forma paralela a la línea de ribera. En ella, las alturas están en un 90% por debajo de los 3 m.s.n.m.(metros sobre el nivel del mar), lo cual le confiere un aspecto llano, prácticamente sin relieve.

La Zona Interior, se desarrolla entre las cotas 5 y 25 m.s.n.m. En este ámbito morfológico, se desarrolla la cuenca propiamente dicha del Arroyo El Pescado, que cuenta con 10 cauces, con una longitud total de 80 Km y 36 Km. de longitud del principal. Este arroyo nace a cota 20 m y llega a la planicie Costera, donde es canalizado para posibilitar su desembocadura al Río de La Plata. La pendiente longitudinal del cauce, desde cabeceras hasta su canalización, es 0,6 m/Km.

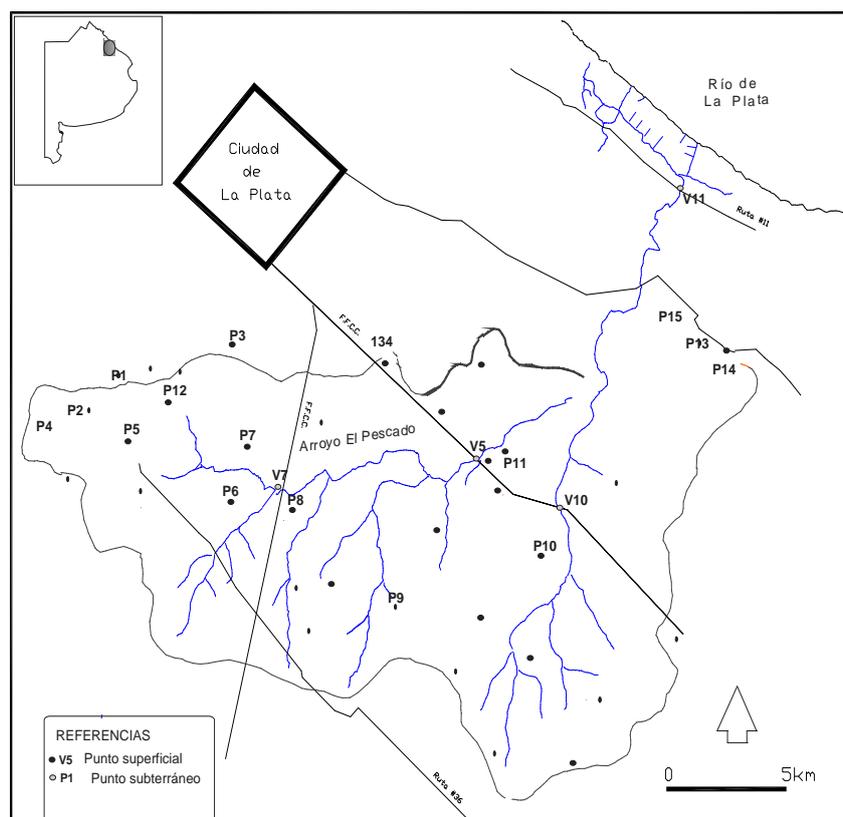


Figura 1. Cuenca de Arroyo El Pescado

### 3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

A nivel regional, el área de estudio se emplaza en uno de los cuatro elementos estructurales positivos de primera magnitud reconocidos en el ámbito bonaerense [7]. Este elemento positivo (Umbral de Martín García), constituye el límite NE de la cuenca sedimentaria del Salado. El basamento cristalino se ubica a una profundidad de 486 mbbp (metros bajo boca de pozo) en La Plata, disponiéndose por encima una secuencia estratigráfica compuesta por: Formación Olivos o "El Rojo" (Mioceno Inferior) ubicado entre los 297 y 486 m; la Formación Paraná o "El Verde" (Mioceno Superior) entre 63 y 297 mbbp, la Formación Puelches o "Arenas Puelches" (Plio-Pleistoceno) entre 44 y 63 mbbp; culminando la secuencia con las formaciones Pampeano (Pleistoceno Medio-Superior) y Postpampeano (Pleistoceno Superior-Holoceno).

Estas unidades presentan una alternancia de secciones productivas separadas por sedimentos de menor permeabilidad que conforman un acuífero multiunitario [8].

Las Arenas Puelches representan al acuífero más importante del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Se trata de una secuencia de arenas cuarzosas cuya transmisividad media de  $500 \text{ m}^2/\text{día}$ . Por encima se desarrolla el Pampeano que presenta un espesor del orden de 50 m y una transmisividad de alrededor de  $200 \text{ m}^2/\text{día}$ . Este nivel incluye a la capa freática, cuya profundidad, en condiciones naturales, varía entre 5 y 10 metros.

#### 4. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La morfología freática muestra que la divisoria regional del agua subterránea además de representar una zona de predominio de recarga, es coincidente con la divisoria superficial que limita la cuenca del Arroyo El Pescado. A su vez, las zonas de descarga preferencial coinciden con la planicie de inundación de dicho arroyo. En la zona de divisoria principal la profundidad de los niveles freáticos oscila entre 10 y 15 m bajo boca de pozo (mbbp), en la zona de divisoria intermedia la profundidad varía entre 3 y 5 mbbp. En las proximidades de la zona de descarga en el arroyo la profundidad de los niveles varía entre 1 y 2 mbbp y en la llanura costera se encuentra el nivel freático prácticamente en superficie.

La morfología es de tipo radial con filetes de flujo convergentes y perfil de depresión hiperbólico, todo lo cual indica el carácter efluente del agua subterránea con respecto al agua superficial. El curso principal de este sistema presenta un flujo de agua permanente siendo la descarga del escurrimiento subterráneo local el que posibilita el mantenimiento del caudal.

El escurrimiento subterráneo regional se orienta hacia el NE [9], con un gradiente hidráulico de 0,5 m/Km en la zona de descarga. Cabe destacar la variación existente en los sectores norte y sur de la cuenca, en los gradientes hídricos, correspondientes a la zona de conducción. Así se observa que en el sector norte, el gradiente hidráulico medio para la zona de conducción es de 0,6 m/Km, mientras que para el sector sur de la cuenca éste asciende a 1,8 m/Km.

La variación en los gradientes hidráulicos señalada precedentemente, puede ser un indicio de diferencias de permeabilidad de los Sedimentos Pampeanos en dichos sectores de la cuenca.

#### 5. HIDROQUÍMICA

La composición química predominante del agua freática en la cuenca del Arroyo El Pescado es bicarbonatada sódica, evolucionando a clorurada sódica en la zona de descarga regional (llanura baja).

El análisis de las características químicas del acuífero freático desde el año 1987 a la actualidad, muestra que en general la composición del agua subterránea es similar con escasas variaciones locales.

Los datos aportados en 1987 muestran que en la llanura alta la salinidad se sitúa entre 370 y 1600 mg/l, los cloruros promedian 40 mg/l y los sulfatos son inferiores a 60 mg/l. En 2011 los resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos, observando los promedios de sulfatos con valores algo menores, en el orden de 30 mg/l. En la figura 2 se muestran los gráficos Piper realizados para 1987, 2003 y 2011.

La Planicie Costera presenta tenores salinos que ascienden a 8000 mg/l, los cloruros superan los 3000mg/l y los sulfatos aumentan a 1400 mg/l.

El agua superficial se clasifica como bicarbonatada sódica pasando gradualmente a clorurada sódica hacia desembocadura. La salinidad es de 400 mg/l en la cuenca alta y media y oscila entre los 700 y 950 mg/l en la llanura baja. En algunas oportunidades puede presentar alta turbiedad, producto del transporte en suspensión de sustancias orgánicas.

Los procesos que definen las características químicas del agua subterránea y contribuyen con la evolución hidroquímica se asocian a la infiltración de agua de lluvia, dilución de  $\text{CO}_{2(g)}$ , disolución principalmente de carbonatos, evaporación e intercambio catiónico. Se observa una evolución de aguas  $\text{Ca-HCO}_3$  a  $\text{Na-HCO}_3$  desde las zonas de recarga hacia las de descarga local.

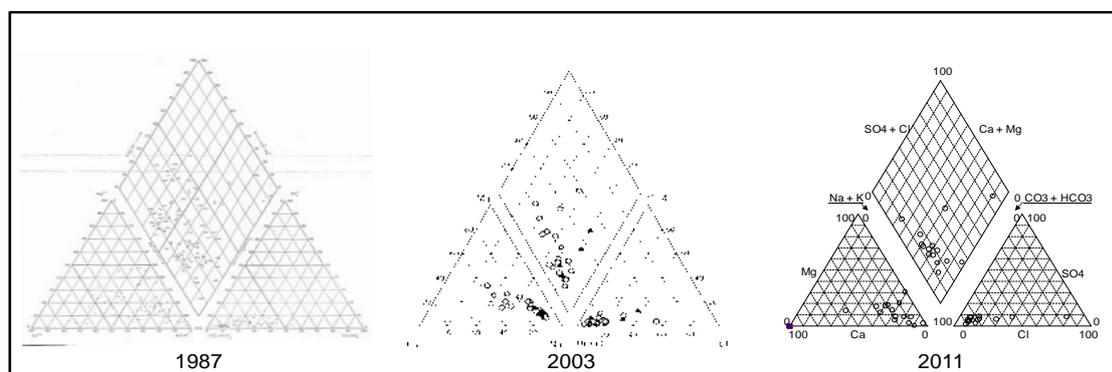


Figura 2. Piper años 1987,2003 y 2011

En esta cuenca se mantienen en forma general las condiciones naturales, tanto desde el punto de vista hidráulico, como desde el punto de vista químico. Las aguas subterráneas muestran condiciones aceptables para uso humano en la llanura alta, mientras que debido al alto contenido salino en la llanura baja se transforma en no apta para la mayoría de los usos.

El agua freática en la cuenca media y superior del Arroyo El Pescado se caracteriza por presentar condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas naturales con escasa afectación por la actividad del hombre.

Se ha reconocido una tendencia al incremento de los valores de nitrato en el agua freática. Si bien el contenido natural de nitrato regionalmente en el agua freática puede presentar un nivel natural relativamente alto (20 mg/l) como consecuencia de los procesos de nitrificación naturales (leguminosas, alfalfa), el aumento reconocido se relaciona puntualmente con la actividad agrícola – ganadera de la zona. La movilidad de los compuestos nitrogenados hacia el agua freática es favorecida por el predominio de los movimientos verticales de agua (infiltración) y su incorporación a la zona saturada por la escasa profundidad a que se encuentra el nivel freático.

## 6. CONCLUSIONES

El agua subterránea en la cuenca del arroyo El Pescado es bicarbonatada sódica, evolucionando a clorurada sódica en la zona de descarga regional. El análisis de la información obtenida desde 1987 a la actualidad muestra que en 24 años las características hidroquímicas predominantes son similares, manifestándose particularidades locales en relación a los contenidos de sulfato y nitrato.

Los resultados obtenidos en el Arroyo El Pescado, indican una variación hidroquímica en el sentido de drenaje con un incremento regular de la salinidad. Ello verifica el carácter efluente del arroyo con respecto al agua freática.

Los procesos que definen las características químicas del agua subterránea y contribuyen con la evolución hidroquímica se asocian a la infiltración de agua de lluvia, dilución de  $\text{CO}_2(\text{g})$ , disolución, evaporación e intercambio catiónico.

Las aguas subterráneas muestran condiciones aceptables para uso humano en la llanura alta,

mientras que debido al alto contenido salino en la llanura baja se transforma en no apta para la mayoría de los usos.

## REFERENCIAS

- [1] Laurencena, P., Deluchi, M., Rojo, A. y E. Kruse. “Influencia de la explotación de aguas subterráneas en el sector periurbano de La Plata”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* Vol 66 N°4: Pág. 484 - 489 Numero especial Geología Urbana, Ordenamiento Territorial y Teledetección.( 2010)
- [2] Sala JM, Gonzalez N, Kruse YE “Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires”. *In: Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras*, pp 976 –1009 (1983)
- [3] Burgos, J.J. y Vidal, A.L. “Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite”. *Rev.Meteor.* I,(1) (1951)
- [4] Thornthwaite C.W. Y Mather J.R. “Instruction and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance”. *Climate Crewel Inst. of Technology.* 10(3). (1955).
- [5] Daus, F.A. “Morfología general de las llanuras Argentinas”. Geografía de la República Argentina. GAEA, VI (1946)
- [6] Fidalgo, F. y Martinez, R. “Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires”. *Revista Asociación Geológica Argentina, XXXVIII* (2), 263 - 279. Buenos Aires. (1983)
- [7] Yrigoyen, M.R., “Geología del subsuelo y plataforma continental”, *Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino*(1975)
- [8] Sala J. M. y Auge M. “Presencia de capas filtrantes en el noreste de la Provincia de Buenos.Aires. Su determinación”. *Actas V Congreso Geológico Argentino Tomo V*, 185 – 194. Buenos Aires (1973)
- [9] González, N.& Laurencena P. “Cuenca hidrológica experimental Arroyo El Pescado. Resultados preliminares”, *II Jornadas Geológicas Bonaerenses: 641-649.* (1988)

# DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (CARACTERIZACIÓN DE LOS CENTROS URBANOS)

Moschione E<sup>1</sup>, Picco P<sup>2</sup>, Leiva S<sup>2</sup> y Zamora A<sup>1</sup>

1: Laboratorio de Análisis  
Centro de Estudios Mar del Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
Buque Pesquero Dorrego 281, 7600 Mar del Plata.  
eleonora@mdp.utn.edu.ar

2: Facultad Regional Trenque Lauquen.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Racedo 298, 6400 Trenque Lauquen.

**Palabras claves:** caracterización localidades, recurso hídrico, noroeste prov. Bs. As

**Resumen.** *El presente proyecto: “Calidad del agua subterránea y gestión del recurso hídrico en el noroeste de la provincia de Buenos Aires”, tiene como finalidad realizar un estudio para conocer la situación actual de la gestión del recurso hídrico en la región y evaluar la calidad del agua subterránea en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, en esta primera etapa se ha realizado una encuesta en los partidos Gral Villegas, Rivadavia, Saliquelo, Trenque Lauquen y Tres Lomas estableciendo dentro de las zonas urbanas: cantidad de habitantes, abastecimiento de agua, tratamiento y tipo de potabilización de aguas, servicio de red cloacal y tratamiento de efluentes, población con y sin agua corriente y cloacas, registro de perforaciones particulares, N° de perforaciones de abastecimiento, profundidad de los pozos, encamisado, equipos de bombeo. Con respecto a los análisis de laboratorio, se relevó cuales efectúan y su periodicidad. Los resultados obtenidos en aquellas localidades que registran datos son los siguientes: Población de 250 a 45.000 habitantes; agua de red (cooperativa, abastecimiento municipal o Aguas Bonarenses SA). El consumo varía desde 3000 a 16000 m<sup>3</sup> diarios, el servicio es pago, la mayoría de las poblaciones realiza cloración, mientras que una localidad aplica osmosis inversa parcial. Las ciudades mas importantes cuentan con red cloacal y realizan tratamiento de efluentes de tipo primario y secundario, otra tiene lagunas de estabilización. El servicio de agua corriente cubre desde el 58 hasta el 100 % de la población, mientras que el de cloacas, del 77 al 100%. No existen registros de perforaciones particulares, mientras que la cantidad de pozos de abastecimiento público va desde 3 hasta 100 con profundidades entre 10 y 63 m, generalmente encamisados y con equipos de bombeo sumergibles. Los controles de laboratorio que se realizan son: concentración de cloro (diario), bacteriológicos (mensual) y físico-químicos (semestrales).*

## 1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua en calidad y cantidad adecuada es, entre los recursos naturales, el principal indicador que afecta al desarrollo humano. La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, en su Resolución N° 47/193, declaró en 1992, el 22 de marzo como el Día Mundial del Agua, con el propósito de promover entre el público la conciencia de la importante contribución que representa el aprovechamiento de los recursos hídricos al bienestar social, así como su protección y conservación [1]

“El derecho humano al agua”, declara el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas, “otorga el derecho a todos al agua suficiente, segura, aceptable, físicamente accesible y asequible para uso personal y doméstico. Estos cinco atributos constituyen las bases para la seguridad del agua. Además, representan los parámetros de un derecho humano que se viola amplia y sistemáticamente en una gran parte de la humanidad, para unos 1.100 millones de personas.

Proporcionar acceso universal al agua es uno de los grandes desafíos del desarrollo que enfrenta la comunidad internacional a comienzos del siglo XXI. El acceso restringido constituye un freno al crecimiento económico, una fuente de profundas desigualdades basadas en la riqueza y el género y una de las principales barreras al rápido avance hacia los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Países enteros están retrasando su avance por la letal interacción entre la inseguridad del agua y la pobreza. La justificación moral, ética y legal para cambiar esta situación está enraizada en el reconocimiento de que el agua limpia es un derecho humano y una condición que capacita para adquirir otros derechos consagrados en la Declaración Universal de Derechos Humanos y en disposiciones internacionales más amplias [2].

Muchas personas no valoran el hecho de disponer de agua: el agua fluye con tan sólo abrir la canilla y en los supermercados es posible elegir entre docenas de marcas de agua embotellada. No obstante, para más de mil millones de personas de nuestro planeta, el agua limpia está fuera de su alcance. Además, unos 2.600 millones de personas no tienen acceso a un saneamiento adecuado. Las consecuencias son devastadoras. Casi 2 millones de niños mueren cada año debido a enfermedades relacionadas con el agua sucia y un saneamiento insuficiente, un número mucho mayor que el de personas asesinadas como resultado de un conflicto violento. Mientras tanto, una mala gestión del agua, un exceso de consumo y la contaminación mundial reducen la cantidad y calidad del agua [2]. Según datos obtenidos del Sistema de Información Regional para la Vigilancia Epidemiológica de las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (SIRVE-ETA), para países de las Américas, durante el período 1998-2001, sobre el total de enfermedades transmitidas por alimentos, el 20% de ellas tuvo como fuente al consumo de agua contaminada. En nuestro país, según datos del Boletín Epidemiológico Nacional, en 2001, fueron notificados 452.108 casos de diarrea en menores de 5 años y 331.283 casos en mayores de 5 años [3].

Este proyecto, “Calidad del agua subterránea y gestión del recurso hídrico en el noroeste de la provincia de Buenos Aires”, en forma conjunta entre Regional UTN Trenque Lauquen y UTN-Sede Mar del Plata, tiene como finalidad realizar un estudio para conocer la situación actual de gestión del recurso hídrico en la región y evaluar la calidad del agua subterránea en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, en concordancia con los objetivos planteados por la Organización Mundial para la Salud para el decenio 2005-2015 "El agua fuente de vida" :

- infundir una sensación de urgencia y garantizar que las diferentes partes interesadas actúen con celeridad con el fin de lograr las metas relativas al agua y al saneamiento establecidas en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) para 2015;
- promover una mayor sensibilización sobre el modo en que el desarrollo y la gestión integrados de los recursos hídricos ofrecen un respaldo decisivo a los esfuerzos por lograr todos los ODM;

En esta primera etapa se exponen los datos obtenidos en un relevamiento a nivel municipal en distintos partidos de la zona del noroeste de la provincia de Buenos Aires.

## 2. ZONA DE ESTUDIO

Se recopilaron datos en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires, específicamente, los partidos involucrados fueron Gral Villegas, Rivadavia, Saliquelo, Trenque Lauquen y Tres Lomas (Figura 1).



Figura. 1. Mapa de la Prov. de Buenos Aires

## 3. METODOLOGÍA

En los partidos seleccionados se obtuvo información mediante la realización de encuestas sobre el conocimiento a nivel municipal en las distintas localidades correspondientes a los partidos en estudio. Los parámetros evaluados fueron cantidad de habitantes, servicio de abastecimiento de agua, tratamiento y tipo de potabilización, servicio de red cloacal, gestión y tipo de residuos sólidos urbanos, población con y sin agua corriente, población con y sin cloacas, registro de perforaciones particulares, número de perforaciones de abastecimiento,

profundidad de los pozos, encamisado, equipos de bombeo. Con respecto a los análisis de laboratorio, se consultó cuáles se efectúan y con qué periodicidad. Los datos recopilados de las encuestas de gestión hídrica en esta primera etapa, serán posteriormente analizados estadísticamente en forma conjunta e integral con la información de campo y los resultados de laboratorio que se generen en el marco del presente proyecto.

#### 4. RESULTADOS

Con los datos recopilados por los encuestadores en esta primera etapa, en la que se evaluaron los partidos Gral Villegas, Rivadavia, Salliqueló, Trenque Lauquen y Tres Lomas, puede establecerse un estado de situación preliminar en referencia a la gestión del recurso hídrico en la zona de interés para el Proyecto.

En las figuras 2 y 3 pueden observarse los datos de cantidad de habitantes por partido y consumo declarado de agua en los mismos. Es importante aclarar que algunas localidades no contaban con información en referencia a la cantidad de agua total consumida en su área de alcance.

Los valores que se tratan en este trabajo son los referidos por los partidos y municipios consultados, no se incluyen datos de perforaciones particulares, ya que en ningún caso se contaba con registro de las mismas.

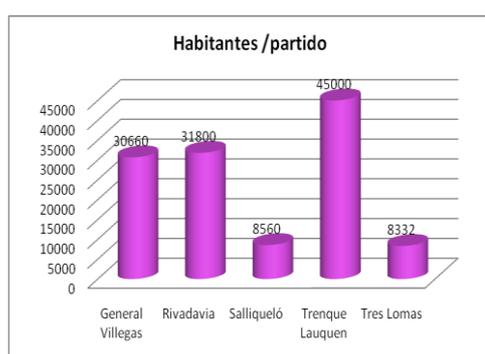


Figura 2. Población por partido

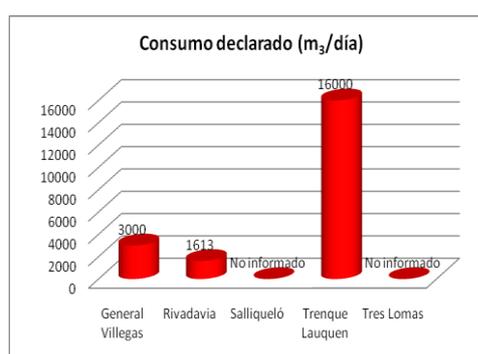


Figura 3. Consumo de agua corriente

En aquellas localidades que registraron datos en las encuestas, la población oscila entre 250 y 45000 habitantes. El servicio de abastecimiento de agua corriente es de tipo cooperativa, municipal, o mediante Aguas Bonarenses SA y el consumo reportado varía desde 3000 a 16000 m<sup>3</sup> diarios. El servicio es pago y, en la mayoría de los casos, medido.

En general, las poblaciones evaluadas sólo realizan cloración del agua de extracción. La ciudad de Rivadavia realiza un tratamiento de ósmosis inversa para proveer agua de consumo a la población por un total de 560m<sup>3</sup>/mes que luego son distribuidos en botellones de 20 litros.

El acceso al agua de red alcanza a toda la población en el Partido de Salliqueló, mientras que en el resto de los partidos es parcial, con un 98 % de servicio de abastecimiento urbano en Trenque Lauquen, 90 % en Tres Lomas, y tan sólo 42 % en General Villegas (Dato de ciudad cabecera de Partido). En el caso del Partido de Rivadavia, se indicó una población servida de 11000 habitantes, sin quedar claro si ese valor es referido al Partido o a la localidad cabecera.

En la figura 4 pueden observarse la cantidad de habitantes con servicio de agua corriente reportados en las encuestas.

Según se ilustra en la figura 5, otro de los parámetros relevados fue el alcance del servicio de saneamiento doméstico (red cloacal) en la zona de estudio. En este caso, Trenque Lauquen presentó una cobertura del 98% de la población, Salliqueló cuenta con servicio de cloacas para el 75 % de sus habitantes, 55% en lo correspondiente a General Villegas y una proporción menor para Rivadavia. La obra de cloacas para el partido de Tres Lomas está en ejecución, el sistema actual contempla el uso de cámaras sépticas y la posterior recolección de residuos sólidos.

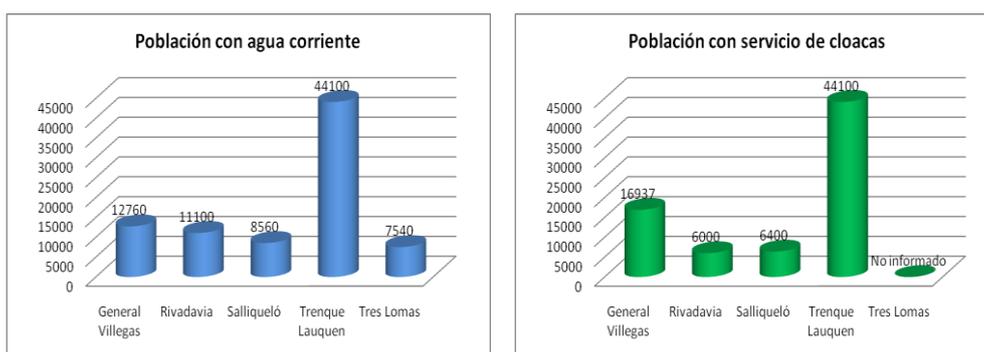


Figura 4. Cantidad de habitantes con agua corriente    Figura 5. Cantidad de habitantes con red cloacal

El abastecimiento de agua para consumo humano se realiza mediante la extracción de agua subterránea en toda la zona de estudio. El número de perforaciones varía entre 3 y 100 en los diferentes partidos y localidades, con características constructivas también diversas, pozos con encamisados y profundidades variables, entre 10 y 70 metros. En general, la profundidad de las perforaciones es inferior a los 30 metros, con excepción del partido de Tres Lomas el cual presenta profundidades comprendidas entre 42m y 70m.

La explotación de las perforaciones se efectúa mediante bombas sumergibles de diferente caudal de extracción. En la figura 6 puede verse el detalle de perforaciones de abastecimiento público para los partidos relevados, siendo importante destacar que, en algunos casos, como Trenque Lauquen, no todas las perforaciones se encuentran en funcionamiento simultáneamente, sino que se retiran de servicio algunas y habilitan otras según requerimientos de caudal de consumo y calidad.



Figura 6. Número de perforaciones para abastecimiento público por partido.

Todas las localidades refieren la realización de controles en el agua de abastecimiento, principalmente mediciones diarias de cloro, complementadas por análisis bacteriológicos una vez al mes y físico-químicos con frecuencia semestral, en ningún caso adjuntaron protocolos de análisis o registro de los controles mencionados en el momento de las encuestas.

Ninguna de las localidades y partidos evaluados cuentan con registro de perforaciones particulares, por lo que los datos de explotación del recurso hídrico, calidad de agua y consumo se refieren a los sistemas locales de abastecimiento. No se conoce con precisión el número de perforaciones particulares, características constructivas de las mismas, ni caudal de extracción, lo que representa una importante “zona gris” en referencia al uso, protección y posible impacto antropogénico en las aguas subterráneas.

La recopilación de datos de base también incluyó consultas acerca de actividades industriales y agropecuarias, con intención de captar información relacionada con el consumo de agua no domiciliario y también considerar posibles actividades que pudieran generar riesgos de contaminación para el recurso hídrico subterráneo (generación de efluentes industriales, gestión de residuos sólidos, etc).

Se indicó presencia de industrias de tipo agro-alimenticias en la localidad de Rivadavia y una industria láctea en Salliqueló, con tratamineto de efluentes líquidos en ambos casos. En el partido de Trenque Lauquen se hizo referencia a una industria láctea y un frigorífico, con tratamiento de efluentes únicamente para la primera. Se registró una industria láctea, en el caso de Tres Lomas y no se informaron datos en la encuesta de General Villegas.

Las principales actividades económicas en la zona comprenden la producción agrícola, con amplias extensiones de cultivo sin riego, y la cría de ganado, mayoritariamente bovino, en este caso con una necesidad de consumo de agua en cantidad y calidad adecuadas. En la figura 7 se grafica la cantidad de cabezas de ganado por partido, siendo esta una actividad que, junto con el uso urbano del agua, requiere una gestión sustentable del recurso hídrico, sobre todo, si se considera que un novillo de 400 kg puede consumir unos 40 litros de agua por día (8-10% de su peso) [4].

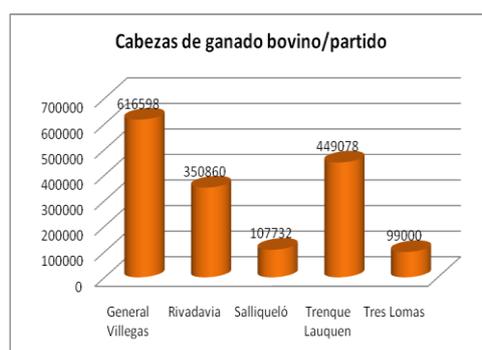


Figura 7. Número de cabezas de ganado por partido.

## 5. CONCLUSIONES

Los datos recopilados hasta el momento permiten establecer una breve reseña acerca del estado de la gestión del recurso hídrico en consumo de agua para uso humano en los partidos

evaluados, resultando de utilidad para el avance en el Proyecto de Investigación en curso, el cual requerirá profundizar especialmente en cuestiones de calidad del agua subterránea en zonas urbanas y rurales a fin de completar el diagnóstico que se pretende.

Se observa una buena accesibilidad al agua corriente y sistema de saneamiento en la mayoría de las localidades evaluadas, aunque ello no resulta indicativo de calidad de agua apta para el consumo, siendo este tópico el principal tema a abordar en la siguiente etapa de este proyecto. Resulta importante la recopilación de información fuera de la zona urbana a fin de conocer condiciones de uso y calidad de agua en perforaciones particulares.

Las actividades de cultivo que se desarrollan en la zona de estudio no requieren uso de agua para riego, pero sí las de cría de ganado, por lo que debe tenerse en cuenta este consumo en los planes de gestión hídrica, así como también el posible impacto que las actividades agropecuarias pudieran ocasionar en la calidad del agua subterránea.

## REFERENCIAS

- [1] Bocanegra E. y Benavides P. (2002) “Agua y salud para el desarrollo humano. Congreso Internacional 2002 de Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano ISBN: 987-544-063-9.
  - [2] Informe sobre el desarrollo humano 2006. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo humano.
  - [3] Zamora, A; Folabella, A.; Pérez Guzzi, J.; Domínguez, S.; De Luca, L. (2002)
  - [4] Sager, Ricardo L. Agua para Bebida de Bovinos. INTA EEA San Luis. Reedición de la Serie Técnica N° 126. 2000. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
  - [5] OMS. Guías para la Calidad del Agua Potable. World Health Organization, 2006.
  - [6] Sistema de Información Regional para la Vigilancia Epidemiológica de las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (SIRVE-ETA), para países de las Américas (1998-2002), INPPAZ-OPS/OMS.
- “Contaminación microbiológica en aguas de pozo. Partido Gral. Pueyrredon. provincia de Buenos Aires. Argentina”. Congreso Internacional 2002 de Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano ISBN: 987-544-063-9



## ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA OESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA FE.

**Boglione, Rosana; Panigatti, María Cecilia\*, Griffa, Carina; Cassina, David**

Facultad Regional Rafaela.  
Universidad Tecnológica Nacional.  
Bv Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina.  
maria.panigatti@frra.utn.edu.ar

**Palabras clave:** Agua Subterránea, Contaminación, Microorganismos, Arsénico.

**Resumen.** *En los últimos años se ha observado una tendencia mundial a aprovechar el recurso hídrico subterráneo, debido a la escasez y contaminación provocada en las aguas superficiales. Entonces, es necesario estudiar las variables fisicoquímicas y bacteriológicas que lo caracterizan. En gran parte del sector oeste de la provincia de Santa Fe, las arenas Puelches alojan aguas de alta salinidad, que resultan sólo aprovechables las capas superiores, existiendo áreas con presencia de arsénico y flúor. El objetivo del trabajo es evaluar la calidad de las aguas subterráneas pertenecientes a la cuenca oeste de Santa Fe. En cada uno de los puntos seleccionados se efectuaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. En general, las muestras no cumplen con algunos límites establecidos por el Código Alimentario Argentino para consumo humano. La mayoría de las aguas poseen elevada salinidad y altas concentraciones de nitratos. Los valores de arsénico encontrados fueron elevados, lo que podría justificarse a que dicho elemento es un contaminante natural. Con respecto a los parámetros bacteriológicos, la no potabilidad se debió a la presencia de distintos microorganismos. La contaminación de las aguas, no sólo se debe a las condiciones naturales de la zona, sino también como consecuencia de la actividad humana.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas subterráneas es uno de los problemas más serios que están afrontando actualmente los países industrializados y los de economías emergentes. El agua subterránea, es aquella que se ha infiltrado desde la superficie del terreno alcanzando las grietas de las rocas permeables del subsuelo, en las que se almacena y a través de las cuales circula. En función de la importancia que posee el agua subterránea, como fuente de provisión de agua potable y dada la naturaleza heterogénea de la misma, es necesario estudiar las variables fisicoquímicas y bacteriológicas que la caracterizan.

En el sector oeste de la provincia de Santa Fe, las arenas Puelches alojan aguas de alta salinidad y en esa zona sólo resultan aprovechables las capas superiores, de bajo caudal y calidad variable, existiendo áreas con ocurrencia de arsénico y flúor, [1]. En esta zona agrícola ganadera, está comprendida la cuenca del oeste de la provincia, conformada principalmente por los departamentos San Cristóbal, Castellanos y San Martín.

Por otra parte, en una amplia región de la Provincia de Santa Fe las aguas subterráneas poseen en forma natural concentraciones de arsénico mayores a 50 µg/l proveniente de la disolución

de minerales, principalmente sulfuros de arsénico, que se encuentran en mayor proporción en depósitos volcánicos presentes en algunos suelos [1].

La ciudad de Rafaela, cabecera del departamento Castellanos, posee 120.000 habitantes y es la localidad más importante de la cuenca. Está ubicada en una región agrícola-ganadera y cuenta con una amplia y variada actividad industrial. La expansión de la ciudad durante los últimos años, ha significado la introducción de importantes perturbaciones sobre los sistemas ambientales, siendo las descargas industriales una fuente importante de contaminación que afecta directamente la calidad del aire, suelo y agua [2].

## 2. OBJETIVO

El objetivo del trabajo es evaluar la calidad de las aguas subterráneas pertenecientes a la cuenca oeste de la provincia de Santa Fe. En particular, se busca analizar la influencia del crecimiento demográfico y la actividad industrial en las aguas subterráneas de la ciudad de Rafaela.

## 3. METODOLOGÍA

En el presente estudio, desde el año 2008 hasta fines de 2010, se analizaron 120 muestras provenientes de localidades y zonas rurales de los departamentos Castellanos, San Martín y San Cristóbal, ubicados en la cuenca oeste de la provincia de Santa Fe (Figura 1). Cabe aclarar que la ciudad de Rafaela no se ha tenido en cuenta en este análisis. Dicha ciudad, es la localidad más importante de la cuenca, por tal motivo, en este trabajo, se profundiza el estudio de las aguas subterráneas de la misma en forma separada. En varios barrios, no se cuenta con el servicio de agua potable y saneamiento, por ello es importante determinar la calidad del agua de consumo.

La metodología utilizada para la toma de muestra y para los análisis correspondientes es la propuesta por APHA [3]. En cada uno de los puntos se analizaron las siguientes variables fisicoquímicas: pH (Método Electrométrico), Conductividad (Método conductimétrico), Sólidos Totales (Evaporación y secado en estufa a 105 °C), Cloruros (Titulación argentométrica), Dureza Total (Titulación con EDTA), Calcio (Titulación con EDTA), Magnesio (Cálculo por diferencia entre Dureza y Ca), Sulfato (Turbidimetría), Nitritos (Colorimetría con alfa-naftil amina), Nitratos (Colorimetría con ácido fenildisulfónico), Amonio (Método de Nessler), Arsénico (Absorción Atómica con inyección de flujo y generación de hidruros).

Para analizar la influencia de la actividad industrial en los niveles freáticos de la ciudad de Rafaela, se determinaron sitios de muestreos de acuerdo a la ubicación de las industrias y se realizaron comparaciones de los mismos con zonas residenciales. En la Figura 2 se observa el plano de la ciudad, con la ubicación de las distintas zonas donde se efectuaron muestreos de agua subterránea. En cada área se analizaron 40 muestras y a cada una de ellas, además de los parámetros anteriormente mencionados se efectuaron determinaciones de flúor (Electrodo selectivo). También se realizaron análisis bacteriológicos, evaluando en cada uno de los sitios de muestreo, diferentes variables. El Recuento de Bacterias Aerobias Mesófilas se efectuó en agar nutritivo (37 °C, 48 hs). Bacterias Coliformes Totales, se determinó el NMP/100 ml (37 °C, 48 hs) en caldo Mc Conkey. Las Bacterias Coliformes Fecales, se determinaron por fermentación en tubos múltiples en caldo Verde Brillante Bilis (44,5 °C-24 hs), *Escherichia*

*coli* se determinó, por aislamiento en agar EMB con identificación IMVIC. Para el aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa* se partió de los tubos Mc Conkey utilizados en la determinación de CT. Aquellos que desarrollaron un halo turbio en la superficie se aislaron e identificaron en agar cetrimida (37 °C, 24 hs).

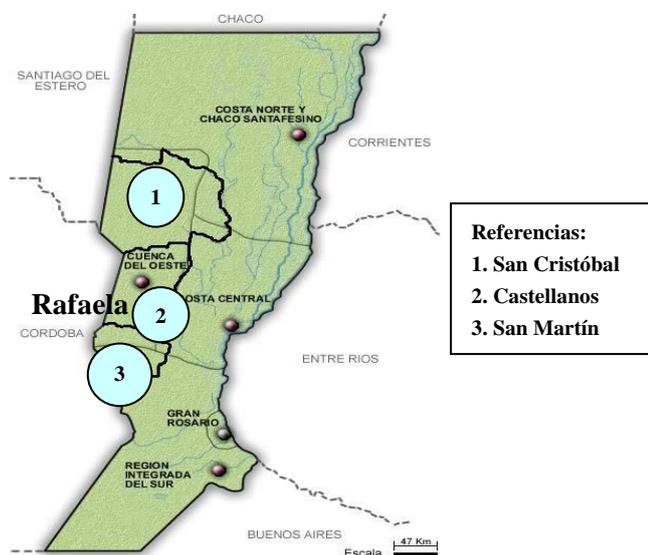


Figura 1: Mapa de la Provincia de Santa Fe, indicando la zona de estudio.

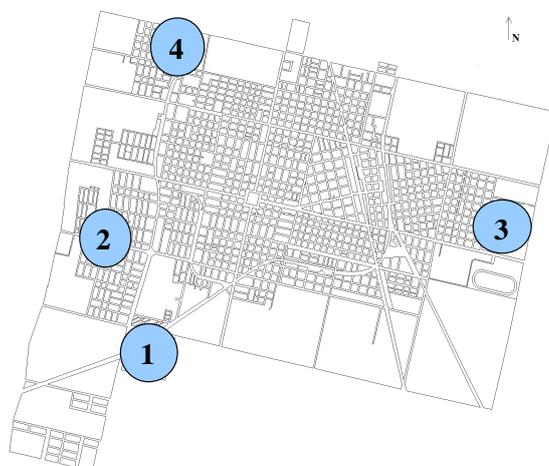


Figura 2: Plano de la ciudad de Rafaela, con la ubicación de las distintas zonas analizadas: 1- Zona Sur, 2- Zona Oeste, 3 Zona Este y 4- Parque Industrial.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Cuenca Oeste Provincia de Santa Fe

El agua acumula en forma natural diversas sales a medida que atraviesa suelos y rocas, por lo tanto la concentración de sólidos disueltos, es un indicador importante de la utilidad del agua para diversas aplicaciones [4]. En el caso del agua para consumo humano, el límite permitido

por el Código Alimentario Argentino, (C.A.A.) es de 1500 mg/L [5]. En la Figura 3, se muestran las concentraciones promedio de sólidos disueltos encontradas en las muestras analizadas. Las mismas son superiores al mencionado límite, siendo mayores en el Departamento San Cristóbal, situado al norte de la cuenca. Las sales presentes en las aguas incluyen cationes tales como sodio, potasio, calcio, magnesio y aniones como cloruros y sulfatos, entre otros. En el caso del sulfato, las concentraciones promedio en los tres departamentos, son superiores a 400 mg/L (límite del C.A.A.), tal como se observa en la Figura 3. Los valores también son mayores en el caso del Departamento San Cristóbal.

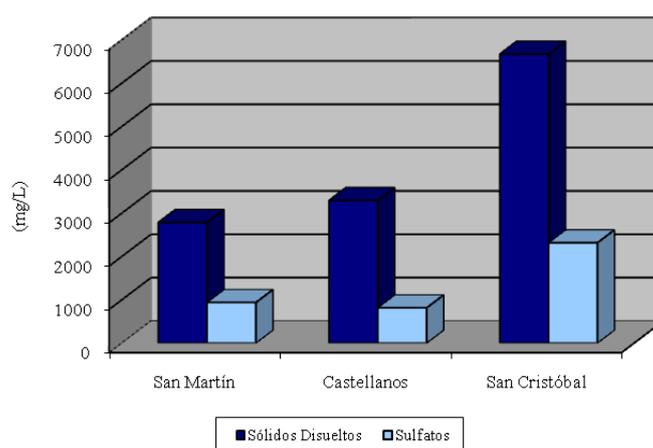


Figura 3: Concentraciones promedio de sólidos disueltos y sulfatos, halladas en los Departamentos San Martín, Castellanos y San Cristóbal.

En las muestras de agua analizadas, los valores de pH oscilan entre 6,70 y 8,05, este rango es adecuado según el límite establecido por el C.A.A.

El cloruro, es un ion móvil que contribuye a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales. En la Figura 4, se observan las concentraciones promedio de cloruros, en todos los casos, las mismas son superiores al límite permitido para consumo humano (350 mg/L). Analizando la dureza de las aguas (Figura 4), aquellas con concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  superiores a 350 mg/L, son consideradas aguas muy duras [6]. Por lo tanto, las muestras correspondientes a los departamentos San Martín y San Cristóbal pertenecen a esta categoría. En cambio, las aguas analizadas del departamento Castellanos, poseen una concentración promedio de 338,1 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , clasificándose como aguas duras, cumpliendo con el límite fijado por el C.A.A.

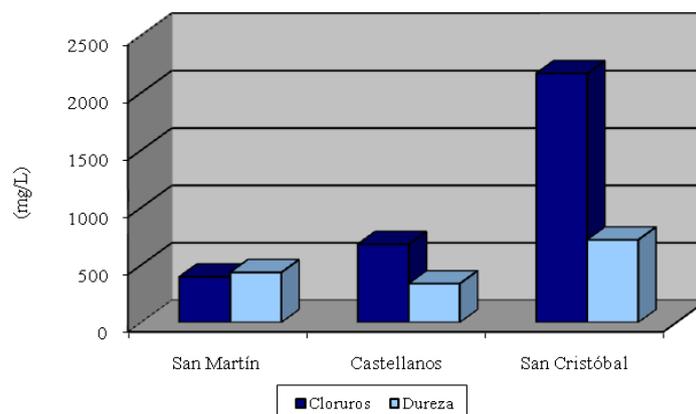


Figura 4: Concentraciones promedio de cloruros (mg/L Cl<sup>-</sup>) y dureza (mg/L de CaCO<sub>3</sub>), halladas en los Departamentos San Martín, Castellanos y San Cristóbal.

En la Figura 5, se muestran las concentraciones promedio de nitratos en el área estudiada. En todos los casos los valores promedio superan ampliamente a los establecidos por el C.A.A. (45 mg/L), indicado con línea roja.

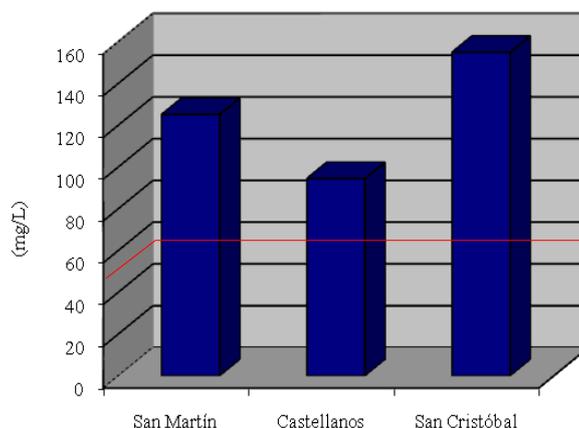


Figura 5: Concentraciones promedio de nitratos (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) halladas en los Departamentos San Martín, Castellanos y San Cristóbal.

El ion nitrato es uno de los contaminantes antropogénicos más comunes identificados en el agua subterránea, ya que es un anión de sales solubles que es fácilmente arrastrado dentro del suelo y hacia la napa freática con el agua de drenaje. Las fuentes de contaminación pueden ser variadas, como por ejemplo, cultivos en áreas donde la capa de suelo es relativamente fina, o tiene poca capacidad de retención de nutrientes, el exceso de fertilización por actividades agrícolas intensivas, el aumento de la urbanización, cámaras sépticas, entre otros.

El exceso de nitratos en agua de bebida constituye un riesgo para la salud. Éstos se reducen a nitritos en el tracto intestinal, los cuales en la sangre oxidan el hierro de la molécula de

hemoglobina, pasando a metahemoglobina, incapaz de transportar oxígeno. Estas transformaciones provocan, en infantes, la enfermedad conocida como metahemoglobinemia o “enfermedad del niño azul” [7,8].

El ion amonio se encuentra generalmente en bajas concentraciones en las aguas subterráneas, debido a que es adsorbido en las partículas y arcillas del suelo y no se extrae fácilmente por lixiviación, lo que implica que posee una baja movilidad. Las concentraciones encontradas en todas las muestras son inferiores a 0,20 mg/L, límite fijado por el C.A.A.

El nitrito es un estado de oxidación intermedio entre el amonio y el nitrato, que aparece en forma natural en el suelo y en el agua [6]. Los valores de nitritos hallados en las muestras de agua analizadas fueron inferiores al límite fijado por el C.A.A. (0,10 mg/L), siendo en la mayoría de los casos, inferiores al límite de detección de la metodología de análisis (0,05 mg/L).

En la Figura 6, se observan los valores promedio de arsénico, obtenidos en los departamentos correspondientes a la cuenca analizada. Existe gran variabilidad, oscilando entre 0,05 y 0,31 mg/L, obteniéndose las mayores concentraciones en el Departamento San Cristóbal. Las concentraciones encontradas de arsénico son preocupantes, ya que un elevado porcentaje supera el límite permitido en aguas de consumo humano (0,01 mg/L), señalado en la Figura 6, con una línea roja.

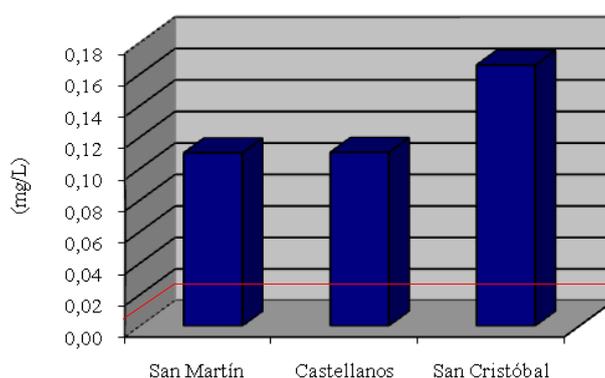


Figura 6: Concentraciones promedio de arsénico, halladas en los Departamentos San Martín, Castellanos y San Cristóbal.

El arsénico es un contaminante natural presente en las aguas subterráneas de la Provincia de Santa Fe. El origen del mismo en la Región Pampásica Argentina se explica para acuíferos muy profundos a los aportes de sólidos en suspensión provenientes de la Puna y de las Sierras Peripampásicas durante el período Cuaternario que quedaron retenidos en ambientes lagunares. Para acuíferos menos profundos se debería a la presencia de cenizas volcánicas en los suelos llevadas antiguamente a la zona por acción eólica [1].

## 4.2. Ciudad de Rafaela

La ciudad de Rafaela es la más importante de la cuenca, por lo tanto, se profundizó el estudio en la zona urbana, fundamentalmente en las áreas que aún no cuentan con el servicio de agua potable. En general, existe una gran variabilidad en los analitos evaluados, observándose mayor contenido de sales, expresados como sólidos disueltos, en las aguas subterráneas del área industrial. En el caso de sólidos disueltos, los valores obtenidos superan el límite fijado por el C.A.A. (1500 mg/L), esto puede deberse a que las sales inorgánicas representan uno de los principales componentes de muchos efluentes industriales, los cuales pasan a través del suelo contaminando posteriormente las aguas subterráneas. La misma tendencia se observa con respecto a los cationes y aniones constituyentes de las sales que han sido analizados. Los promedios hallados de cloruros en la zona industrial son mayores de 350 mg/L, límite establecido por el C.A.A., lo mismo sucede con los valores promedio de sulfatos, los cuales son superiores a 400 mg/L.

Los valores de nitritos promedios son superiores al límite establecido por el Código Alimentario Argentino (0,10 mg/L), esto puede indicar una contaminación de origen orgánico tal como la generada por los pozos cloacales que aún existen en los barrios estudiados. En cuanto a las concentraciones promedio de amonio, las mismas son inferiores a los límites admisibles.

Las concentraciones de nitratos del área residencial son menores que las halladas en la zona industrial, esto se debería fundamentalmente a los desechos generados tanto por las industrias que utilizan ácido nítrico en su proceso como por aquellas que poseen materia orgánica nitrogenada. En el área residencial, cabe destacar que los valores obtenidos en la zona oeste, superan ampliamente los límites fijados por el C.A.A., lo que puede deberse a la contaminación bacteriana que hay en esta zona, como se verá más adelante.

Los valores de arsénico en todos los puntos de muestreo en la ciudad de Rafaela son superiores al límite establecido por el Código Alimentario Argentino de 0,01 mg/L. Oscilando entre 0,05 y 0,12 mg/L, siguiendo la misma tendencia que se observó en el Departamento Castellanos.

El flúor puede catalogarse como un elemento esencial, desde el punto de vista de la nutrición humana, ya que es un oligoelemento imprescindible para la formación de huesos y dientes. A pesar de ello, el flúor sigue siendo un elemento claramente tóxico en el que sólo las dosis consumidas diferencia los efectos beneficiosos de los perniciosos, [9]. Las concentraciones de fluoruros de 1 mg/L se consideran recomendables para la prevención de caries dentales, especialmente durante los períodos de niñez. Si estas concentraciones se encuentran por encima de 1,2 mg/L en agua de bebida, provocan fluorosis dental, patología que debilita las piezas dentarias haciéndolas susceptibles a caries y causando la pérdida dentaria con el correr de los años [10].

Las concentraciones de flúor fijadas por el C.A.A. en la zona, están comprendidas entre 0,7 y 1,2 mg/L, hallándose valores superiores en la zona sur de la ciudad, lo cual coincide con las mayores concentraciones de arsénico halladas. En general, la presencia de arsénico en agua subterránea está asociada a la de flúor, ya que proviene de la meteorización de minerales de origen volcánico [11]. En la Figura 7 se observa la relación entre la concentración de arsénico y fluoruro en las muestras de aguas subterráneas analizadas. Ésta presenta una correlación positiva ( $r^2 = 0,5293$ ).

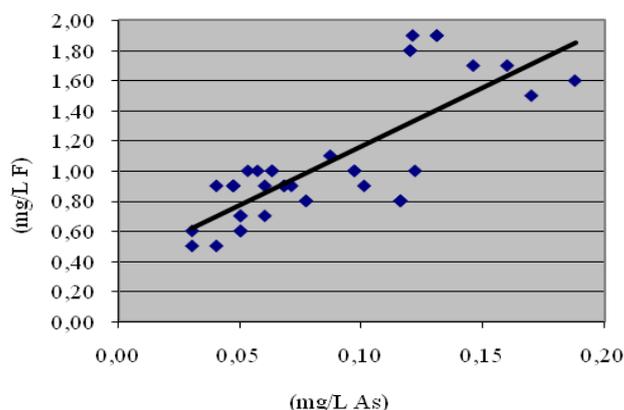


Figura 7. Relación entre la concentración de arsénico y fluoruro en muestras de agua subterránea en la ciudad de Rafaela.

Con respecto al análisis bacteriológico, el Recuento de Bacterias Mesófilas Totales según el límite establecido por el C.A.A. (500 UFC/ml), en las zonas este y Parque Industrial es superado en el 10 % de las muestras, mientras que en las zonas sur y oeste el 40 % están por encima del mencionado límite. Esto se puede deber a que estos barrios aún cuentan con cámaras sépticas, en cambio la zona, menos contaminada, posee el servicio cloacal. Dentro de los Coliformes Totales (CT), se pueden distinguir dos tipos, por un lado los Coliformes Fecales (CF), que provienen del tracto intestinal de animales de sangre caliente y que serían los mejores indicadores de riesgo de afecciones humanas, y por otro lado existe otro grupo de coliformes que son residentes naturales en el suelo y agua [12].

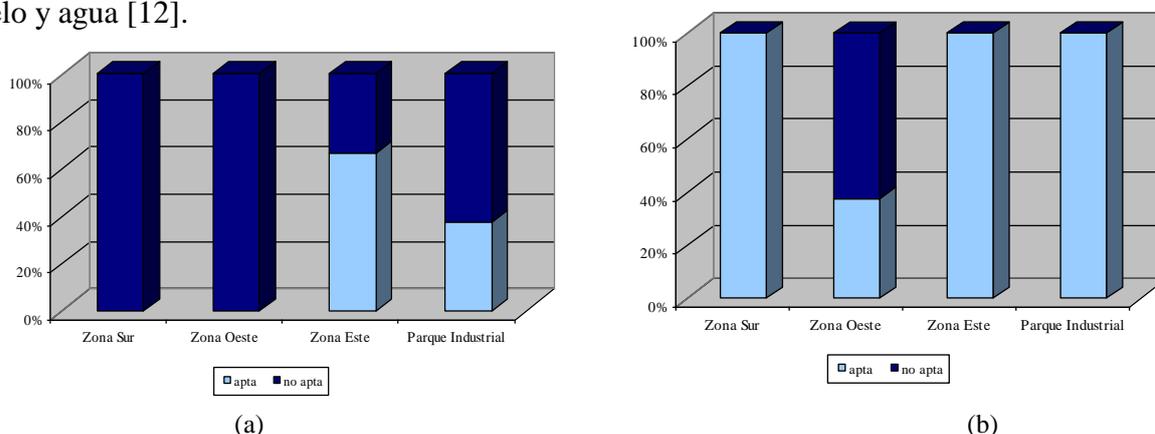


Figura 8. Porcentaje de aptitud respecto a NMP/100 ml de Bacterias Coliformes Totales. (a) Zona Sur y oeste. (b) Zona Norte

Con respecto a las muestras de agua subterránea analizada, en la Figura 8a se observa que la presencia de CT, es mayor en las zonas sur y oeste. Si bien se han detectado dichas bacterias en todas las zonas estudiadas, se han encontrado Bacterias CF sólo en la zona oeste, (Figura 8b), como se ha explicado anteriormente, estos barrios aún no cuentan con sistema de

saneamiento de líquidos cloacales. En la zona oeste, en las aguas subterráneas donde se encontraron Bacterias Coliformes Fecales, se encuentran presentes bacterias *Escherichia coli*. El problema sanitario más común que surge de la presencia de bacterias fecales en el agua subterránea es la diarrea, pero también pueden aparecer fiebres tifoideas, hepatitis infecciosas e infecciones gastrointestinales. Aunque las bacterias *E. coli* son excelentes indicadoras de la contaminación, pueden provenir de diversas fuentes, por ejemplo efluentes de fosas sépticas, residuos de granjas, vertederos o de pájaros [13].

Con respecto a la contaminación con *Pseudomona aeruginosa*, en la mayoría de las muestras se observa la presencia de las mismas, Figura 9. Esto en general se asocia a la presencia de coliformes, si bien no necesariamente. Además su presencia en aguas de consumo doméstico puede estar ligada al uso de ciertos materiales no metálicos, que favorecen su crecimiento en el interior de las conducciones de agua potable [14].

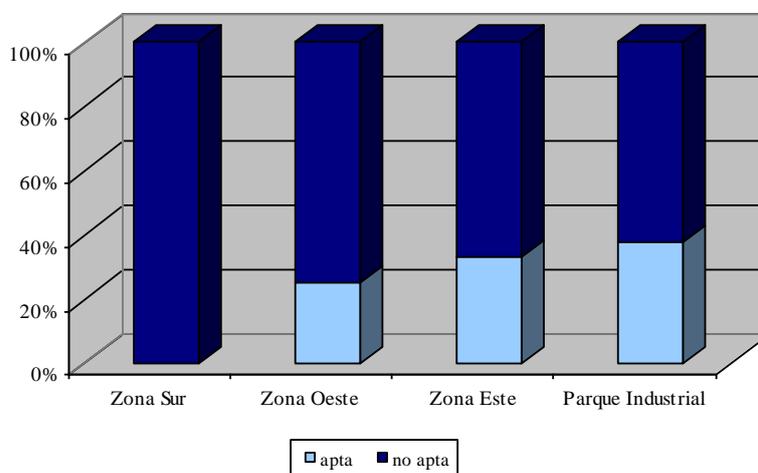


Figura 9. Porcentaje de aptitud respecto a *Pseudomona aeruginosa*.

## 5. CONCLUSIONES

- Las muestras de aguas pertenecientes a la cuenca oeste de la Provincia de Santa Fe tienen elevados contenidos de sólidos disueltos totales, sulfatos, cloruros y dureza, encontrándose mayores concentraciones en el departamento San Cristóbal, situado al norte de la misma. La mayoría de las muestras analizadas no cumplen con los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino para consumo humano.
- Las elevadas concentraciones de nitrato halladas en la cuenca y más específicamente en la ciudad de Rafaela, surgen como consecuencia de la actividad humana, ya sea industrial o agrícola-ganadera, desarrollada en la zona.
- La existencia de una correlación positiva entre las concentraciones de arsénico y fluoruro encontradas en Rafaela, nos permiten afirmar, que la población expuesta a altas concentraciones de arsénico también lo está a elevados niveles de fluoruro. Lo preocupante es que no existen tecnologías para el tratamiento de los mismos que permitan disminuir las concentraciones a costos razonables.

- En cuanto a los parámetros bacteriológicos, la no potabilidad de las muestras en la ciudad de Rafaela, se debió fundamentalmente a la presencia de bacterias coliformes totales. En todos los sectores se encontró presencia de *Pseudomona aeuroginosa* y en los barrios que aún cuentan con cámaras sépticas se detectó contaminación fecal de las aguas subterráneas.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Vázquez, H.; Ortolani, V.; Rizzo, G.; Bachur, J. y Pidustwa, V. “Arsénico en aguas subterráneas criterios para la adopción de límites tolerables”. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, Brasil. 17 pp., (2000).
- [2] Panigatti, M.C.; Griffa, C. y Boglione, R. “Estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la ciudad de Rafaela, Santa Fe”. *Actas XX Congreso Nacional del Agua*. Vol. 1, (2005).
- [3] APHA. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup> Edition American Public Health Assoc., N.York 1268 pp, (2001).
- [4] Masters, G. M.y Ela, W. P. *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Pearson Educación, S.A. Madrid, España. 752 pp, (2008).
- [5] Código Alimentario Argentino. “Artículo 982 - (Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007)”, (2007).
- [6] Gray, N.F. Calidad del agua potable. *Problemas y Soluciones*. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 365 pp, (1994).
- [7] Leanza, L. N.; Parente, J.; Varanese, C. y Echeverría, P. “Presencia de Nitratos en el Agua Subterránea del Norte Bonaerense”. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 9. 1-5 pp, (2005).
- [8] Sasson, A. *La alimentación del hombre del mañana*. UNESCO. Reverté S.A. (1993).
- [9] Osicka, R.M.; Agulló N.; Herrera Ahuad C.; Giménez, M.C. “Evaluación de las concentraciones de fluoruro y arsénico en las aguas subterráneas del Domo Central de la provincia del Chaco”. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste*. (2002).
- [10] Avila Carreras, N. M., Farias, S. S., Bianco, Gladys. “Determinación de fluoruro en aguas de Rinconadillas (provincia de Jujuy)”. *Acta Toxicol. Argent.* Vol.16, No.1, p.14-20, (2008)
- [11] Pérez Carrera, A.; Fernández Cirelli, A. “Niveles de arsénico y flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera (Pcia. de Córdoba, Argentina)” *Investigación Veterinaria*. pp 51-60, (2004).
- [12] Perdomo, C. H.; Casanova, O. N. y Ciganda, V. S. “Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay” *Agrociencia*. Vol. N° 1 pág. 10-22, (2001).
- [13] Kiely, G. Ingeniería Ambiental. *Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Ed. Mc Graw Hill 1331 pp, (1999).
- [14] Marín Galvín, R. Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos. *Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ed. Díaz de Santos, S.A. 311 pp, (2003).

## COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DEL NÚMERO MÁS PROBABLE Y FILTRACIÓN DE MEMBRANA PARA ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

**Moyano, Silvia A.; Marín, Graciela N. y Pegoraro, Lidia E.**

Laboratorio de Química y Microbiología.  
Facultad Regional Villa María.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Av. Universidad 450. (5900). Villa María, Córdoba, Argentina.  
e-mail: lab\_quimica@frvm.utn.edu.ar, web: <http://www.frvn.utn.edu.ar>

**Palabras clave:** Microbiología de Aguas, comparación de técnicas, fermentación en tubos múltiples, filtro de membrana.

**Resumen** *La prueba estándar para el grupo coliformes y Enterococos intestinales en muestras de agua puede realizarse mediante las técnicas de fermentación en tubos múltiples o de filtro de membrana. Son aplicables estos dos métodos teniendo en cuenta sus limitaciones específicas y el propósito del estudio. El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio comparativo de muestras de agua, con las técnicas del número más probable y de filtración, teniendo en cuenta la reproducibilidad y la sensibilidad de ambos métodos. Se utilizaron las técnicas indicadas por el SMEWW, 21th 2005 para el número más probable y tubos múltiples, y las Normas ISO-9308-1 y 7899-2:2000 para los métodos de filtración. Se realizó una evaluación de desempeño analizando muestras con distintos niveles de contaminación. Los resultados obtenidos mostraron que no se presentan diferencias significativas. En relación al tiempo de análisis y a los costos de materiales, fueron superiores en las del número más probable en aquellos casos en que las muestras analizadas fueron de agua potable o con un bajo grado de contaminación. Se concluyó que ambas técnicas son similarmente sensibles y reproducibles, estando las ventajas de su aplicación determinadas por sus limitaciones específicas y el grado de contaminación de la muestra.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La experiencia ha demostrado que la densidad del grupo coliformes es un indicador del grado de contaminación y por lo tanto de calidad sanitaria bien precisados. La prueba estándar para el grupo coliformes en muestras de agua puede realizarse mediante las técnicas de fermentación en tubos múltiples o de filtro de membrana. Son aplicables estos dos métodos teniendo en cuenta sus limitaciones específicas y el propósito del estudio.

La técnica de filtro de membrana, que implica la siembra directa para la detección y cálculo de la densidad, es tan eficaz como la fermentación en tubos múltiples para la detección de bacterias de este mismo grupo. La modificación de los detalles del procedimiento, y sobre todo de los medios de cultivo, ha hecho que los resultados sean comparables a los que se obtiene con el método de la fermentación en tubos múltiples. Aunque existen limitaciones a la aplicación de la técnica del filtro de membrana, puede ciertamente ser equiparable a la anterior

si se emplea teniendo en cuenta de manera estricta sus inconvenientes y sus especificaciones técnicas. Por lo tanto, se puede contar con los dos métodos estándar para la detección de las bacterias del grupo coliformes [1].

Lo usual es informar los resultados de los análisis de coliformes desarrollados mediante el método de fermentación en tubos múltiples estableciendo como índice el Número Más Probable (NMP), que es un registro del número de bacterias coliformes que, con mayor probabilidad, podría dar los resultados obtenidos en el análisis efectuado, no se trata, pues, de un número real. Los métodos de siembra directa, como el del filtro de membrana, permiten el recuento directo de las colonias de coliformes. En ambos casos, la densidad de coliformes se expresa en NMP o recuento en filtro de membrana por 100 ml. El uso de cualquiera de ellos permite obtener una valoración de la calidad sanitaria del agua y de la eficacia del tratamiento a que ha sido sometida [1].

Los estreptococos fecales son también indicadores de contaminación fecal. En su determinación pueden utilizarse el método de dilución en tubos múltiples y del filtro de membrana, en forma indistinta [1].

Por otro lado, se manifiesta la importancia de la aplicación de dichas técnicas de filtración, si se considera que la Comunidad Económica Europea en los análisis de calidad sanitaria de agua potable, exige la aplicación de métodos de filtración por membrana en las determinaciones de Coliformes Totales y *Escherichia coli* y de Enterococos Intestinales.

Estos cambios en la metodología responden a que las distintas técnicas han ido evolucionando a medida que las exigencias de calidad de los entes controladores y los consumidores, han ido aumentando.

Cada una de estas técnicas surge de la necesidad de análisis cada vez más precisos y confiables, pero también de procesos más simples. Es así como las técnicas de presencia/ausencia o de número más probable están siendo reemplazadas por métodos más rápidos y precisos en la mayoría de los laboratorios.

El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio comparativo de los ensayos microbiológicos de muestras de agua realizadas con el método del Número Más Probable y de Filtración por membrana, teniendo en cuenta la reproducibilidad y la sensibilidad de ambos métodos.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 Muestras**

Se utilizaron muestras de agua de red de agua potable y preparada artificialmente con distintos niveles de contaminación inoculadas con bacterias tipificadas, pertenecientes a nuestro Laboratorio de Química y Microbiología de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Villa María.

### **2.2 Técnicas**

Se utilizaron las técnicas del Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (SMEWW), 21<sup>th</sup> [1], implementando la del Número Más Probable 9221-A y B (coliformes totales.) y 9230 por Tubos Múltiples (Grupo Estreptococos y Enterococos intestinales, utilizando caldo de Púrpura de Bromocresol Azida). En los métodos de filtración fueron las establecidas por las Normas ISO-9308-1:2000 (Coliformes totales y E.coli) y ISO 7899-2:2000 (Enterococos intestinales).

Los detalles referentes a los medios de cultivos utilizados y las etapas de confirmación de cada determinación están especificados en forma explícita en las técnicas mencionadas en el párrafo anterior.

### 2.3 Metodología

De cada técnica en particular, se realizó una evaluación de desempeño para el analista que realizó el entrenamiento. Para ello se analizaron 20 muestras de pozo, red de agua potable y muestras con distintos niveles de contaminación inoculadas artificialmente con bacterias tipificadas.

Se adoptaron como métodos de referencia (MR) a las técnicas de filtración establecidas por la Comunidad Económica Europea para el análisis microbiológico de agua (Norma ISO-9308-1:2000 de Coliformes totales y *E.coli* y Norma ISO 7899-2:2000 de Enterococos intestinales). En la preparación de las muestras con distintos niveles de contaminación inoculadas artificialmente, a ser analizadas con cada técnica en particular, se seleccionaron cepas de bacterias que en el método de referencia dan resultado positivo y otras cepas que no deberían detectarse (cepas No Target). Se trabajó con muestras con distintos grados de contaminación logrados a partir de colocar 1, 0,5, 0,25 ml de una dilución  $10^{-10}$  de un tubo inicial correspondiente al tubo 0,5 de la escala de Mac Farland.

### 3. IMPLEMENTACIÓN DE LAS TÉCNICAS

La implementación de los métodos de filtración por membrana se realizó mediante el uso de Monitores para análisis microbiológicos que se presentan en envase estéril individual y tienen una membrana filtrante de 0,45 micras de tamaño de poro (figura 1).



Figura N°:1: Monitores con membrana filtrante estériles para el método de filtración por membrana

Este conjunto consiste en un embudo que se fija a un receptáculo provisto de una placa porosa, que soporta el filtro de membrana. El líquido analizar pasa a través de la membrana filtrante durante la filtración de la muestra. Sobre la base, que cumple la función de placa de Petri y de soporte para la membrana filtrante, se coloca el medio de cultivo sobre la membrana. Se coloca la tapa y el tapón inferior y se lleva a la estufa de cultivo.

Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones particulares en la aplicación de cada técnica:

- En la determinación de coliformes totales por fermentación por tubos múltiples se utilizó el Caldo Lauril Sulfato de acuerdo a lo establecido por SMEWW [1]. La presencia de Coliformes totales se observa por la producción de gas y turbidez de los tubos luego de una incubación a 37 °C y confirmación en caldo Brila (verde bilis brillante). La prueba confirmatoria de coliformes fecales se realizó sembrando los tubos positivos de Caldo Lauril sulfato en tubos de caldo EC, que se incubaron a  $44,5 \pm 0,2$  °C.
- En el caso del método por filtración para la determinación de Coliformes totales y *E.coli* se utilizó el Agar de Lactosa TTC con heptadecilsulfato de sodio (Tergitol@7) que se colocó luego de filtrar con los monitores estériles 100 ml de muestra, como indica la técnica. Posteriormente se incubaron durante 48 horas a 37 °C. El Agar de Lactosa TTC con heptadecilsulfato de sodio (Tergitol@7) es de color verde y por la acidificación producida por la fermentación de la lactosa vira desarrollando colonias amarillas (figura 2).

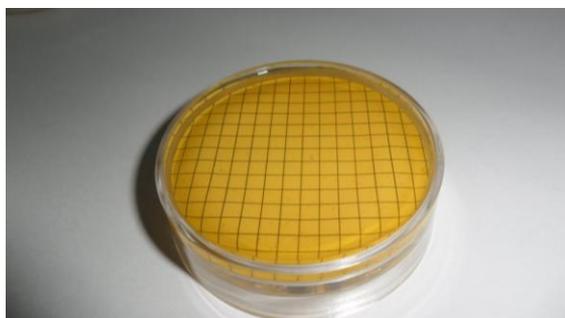


Figura N°:2: Monitor con Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) con colonias amarillas de *Escherichia coli*. (Recuento > 200 ufc/ml).

- La confirmación de Coliformes totales y *E.coli* de acuerdo a la Norma (ISO 9308-1:2000) consiste en realizar a cada colonia amarilla la prueba de la oxidasa y ver el crecimiento y la producción de Indol en Agua Peptonada a  $44,5 \pm 0,2$  °C durante 24 horas (deben ser confirmadas al menos diez colonias típicas) [6].
- En la técnica de tubos múltiples para *Streptococcus faecalis* se utilizó el Caldo de Púrpura de Bromocresol Azida. Este caldo es de color violeta y vira al amarillo por la fermentación producida por lo Estreptococos (figura 3). La confirmación se realizó en tubos Caldo Cerebro Corazón con 6,5% de ClNa incubados a  $44,5 \pm 0,2$  °C durante 24 horas [1].
- En el método por filtración para Enterococos intestinales se usó el Agar Slanetz y Bartley, donde aparecen las colonias típicas rojas luego de una incubación a 37°C durante 48 hs. Si hay colonias típicas, con ayuda de unas pinzas estériles, se transfiere la membrana con las colonias, sin invertirlas, a una placa con Agar Biliar de Esculina-Azida, precalentada a 44°C. Se incuba a  $44 \pm 0,5$  °C durante 2 h (figura 4) [5].

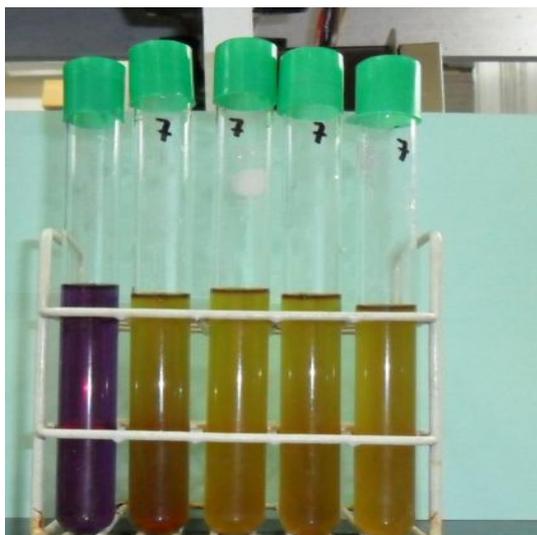


Figura N°:3: Tubos positivos (amarillos) y negativos del Caldo Púrpura Bromocresol Azida para la determinación de Enterococos intestinales por el Número Más Probable.

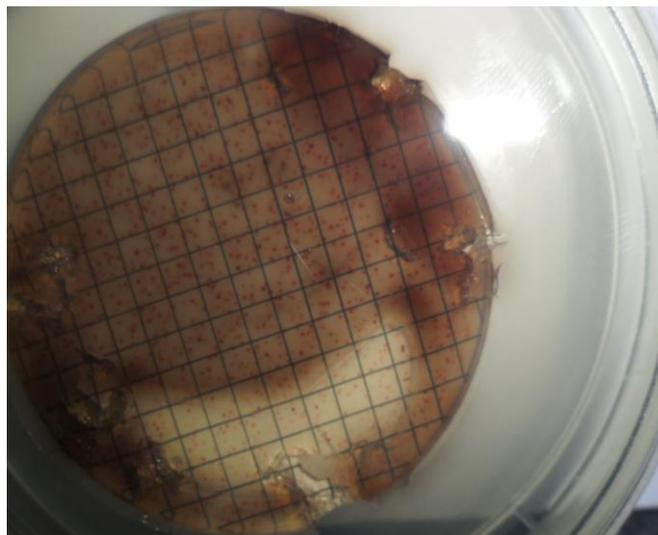


Figura N°:4: Placa de Agar Bilis Esculina-Azida con colonias de *Enterococcus faecalis* (rojas con ennegrecimiento del medio).

#### 4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

De acuerdo a la terminología analítica para uso del CODEX se define como resultados reproducibles de un ensayo cuando se obtienen aplicando el mismo método a elementos de ensayo idénticos, en laboratorios distintos, con distintos operadores y utilizando equipos diferentes. Pero también aclara que cuando métodos distintos dan resultados que no difieren mucho entre sí, o cuando el diseño del experimento permite el empleo de métodos diferentes, como en un estudio de competencia o un estudio de certificación del material para establecer un valor unánime en relación con un material de referencia, el término “reproducibilidad” puede aplicarse a los parámetros resultantes [3].

También el CODEX define a la sensibilidad como la variación en la respuesta dividida por la variación correspondiente en la concentración del analito [3]. En las técnicas de análisis microbiológicos el analito corresponde a las bacterias blanco o TARGET de una determinación de un parámetro dado (en este estudio sería Coliformes totales y *E.coli* y Enterococos intestinales).

Según lo anterior, en este estudio comparativo entre las técnicas de Fermentación Por Tubos Múltiples y las técnicas de Filtración Por Membrana para las determinaciones de Coliformes totales y *E.coli* y Enterococos intestinales, la reproducibilidad de ambos métodos se evaluó realizando las determinaciones analíticas de las muestras de agua con ambas metodologías.

De la puesta a punto de las técnicas de filtración para coliformes totales y *E.coli* y Enterococos intestinales y la correspondiente evaluación de desempeño del analista, se obtuvieron los resultados que se muestran en las tablas 1 y 2. Para realizar esta tarea se analizaron 20 muestras correspondientes a agua estéril, agua potable y muestras contaminadas

con cepas tipificadas. Para cada técnica se seleccionaron bacterias que en el método de referencia dan resultado positivo y otras cepas que no deberían detectarse (cepas No Target). Los distintos grados de contaminación de las muestras fueron logrados a partir de colocar 1, 0,5, 0,25 ml de una dilución  $10^{-10}$  de un tubo inicial correspondiente al tubo 0,5 de la escala de Mac Farland. Se adoptó como método de referencia (MR) a las técnicas de filtración (Normas ISO 9308 e ISO 7899) y como método aplicado (MA) al de fermentación por tubos múltiples que se aplica habitualmente en nuestro Laboratorio. En las tablas 1 y 2 se detallan los resultados obtenidos y nivel de contaminación de los inóculos utilizados.

Inóculo	N° de muestras	Resultados POSITIVO		Relación MR/MA	Grado de concordancia (%)
		Método Filtración (MR)	Método Tubos Múltiples (MA)		
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	12	12	12	12/12	100 %
<i>Klebsiella oxytoca</i>	5	5	5	5/5	100 %
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	1	0	0	0/0	100 %
Agua estéril	2	0	0	0/0	100 %

Tabla N°1. Evaluación de desempeño de las técnicas para Coliformes totales y *E.coli*.

Inóculo	N° de muestras	Resultados POSITIVO		Relación MR/MA	Grado de concordancia (%)
		Método Filtración (MR)	Método Tubos Múltiples (MA)		
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 19433	10	10	10	10/10	100 %
<i>Streptococcus. uberis</i> ATCC 27958	5	0	0	0/0	100 %
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922.	2	0	0	0/0	100%
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	1	0	0	0/0	100 %
Agua estéril	2	0	0	0/0	100%

Tabla N°2. Evaluación de desempeño de las técnicas para Enterococos intestinales.

Los resultados muestran que hubo una total concordancia entre los resultados asignados por los métodos de filtración y el de fermentación por tubos múltiples (tabla 1 y 2).

En el caso de muestras de agua potable (cinco muestras analizadas) con ambos métodos en el análisis de Coliformes y Enterococos intestinales, los resultados obtenidos fueron idénticos (tabla 3) y dieron “agua apta para consumo” considerando los parámetros microbiológicos establecidos por la Dirección de agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba, donde la cantidad de coliformes no debe superar de 2,2 NMP/100ml por la técnica del Número Más Probable, o 0 ufc/ml con las técnicas de Filtración por Membrana [4].

N° de muestras	Muestras POSITIVAS			
	Coliformes totales y <i>E. coli</i> (NMP)	Coliformes totales y <i>E. coli</i> (Filtración)	Enterococos intestinales (NMP)	Enterococos intestinales (Filtración)
5	0	0	0	0

Tabla N°3: Muestras de agua potable analizadas por los métodos del NMP y filtración para la determinación de Coliformes totales y *E.coli* y Enterococos intestinales.

Cuando se utilizaron las técnicas del Número Más Probable y las de filtración por membrana para analizar muestras de agua contaminadas artificialmente con inóculos realizados con cepas de bacterias pertenecientes al Cepario de nuestro Laboratorio, también se obtuvieron resultados comparables y reproducibles en las determinaciones de los parámetros investigados.

En relación de las limitaciones de ambas metodologías podemos destacar que las técnicas de filtración por membrana resultan más prácticas que los métodos de fermentación por tubos múltiples por la cantidad requerida de medio de cultivo y el tiempo de preparación del material necesario es notablemente menor. En la metodología de los tubos múltiples se deben preparar por muestra los tubos de acuerdo a la Tabla de Número Más Probable utilizada [2]. Este estudio comparativo se efectuó utilizando la tabla de 1 tubo de 50 ml de muestra y 5 tubos con 10ml de muestra, por lo que el resultado negativo se expresa en <1NMP/100ml. [2]. Además los métodos de filtración resultaron especialmente útiles y convenientes cuando las muestras de agua analizadas son potables o poseen un bajo grado de contaminación. Esto último es porque no se requiere la etapa de confirmación (por no haber desarrollado colonias típicas en los monitores después de la filtración, del agregado del medio de cultivo y del período de incubación) o la confirmación de un número menor de diez colonias típicas (en la Norma ISO 9308-1 Coliformes totales y *E.coli*). En la Norma ISO 7899-2, para Enterococos intestinales, la fase confirmatoria se reduce la incubación de la membrana con las colonias típica en el Agar Bilis- Esculina, a 44 °C ± 0,5 °C durante 2 horas.

Como puede observarse en las tablas 4 y 5, ambos métodos (NMP y filtración) cuando se utilizó distintos niveles de contaminación, los resultados obtenidos en la determinación de dichos parámetros fueron comparables.

Inóculo	N° de muestra	Dilución	Volumen sembrado	NMP NMP/100 ml	Filtración ufc/ml
Cepa de <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922.	3	$10^{-9}$	1,0 ml	>18	36
			1,5 ml	>18	100
			2,0 ml	>18	120
Tubo de Caldo Lauril sulfato.	2	$10^{-10}$	1,0 ml	>18	70
			2,0 ml	>18	86
Se Preparó en 300 ml de agua estéril.	2	$10^{-11}$	1,0 ml	>18	31
			2,0 ml	>18	70
	5	$10^{-12}$	2,0 ml	>18	27
			1,0 ml	16	23
			0,5 ml	9	16
			1,0 ml	>18	> 200
	3	$10^{-13}$	0,5 ml	>18	> 200
1,0 ml			>18	> 200	
			1,5 ml	>18	> 200
			2,0 ml	>18	> 200

Tabla N° 4: Resultados de muestras de agua contaminadas artificialmente por las Técnicas del Número más Probable y por filtración en la determinación de Coliformes totales y *E. coli*.

Inóculo	N° de muestra	Dilución	Volumen sembrado	NMP NMP/100 ml	Filtración ufc/ml
Cepa <i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 19433.	4	$10^{-13}$	2,0 ml	>18	> 200
			1,0 ml	>18	> 200
			0,5 ml	>18	> 200
			0,25 ml	>18	>200
Tubo de Caldo Infusión Cerebro-Corazón.	3	$10^{-14}$	1,0 ml	>18	> 200
			0,5 ml	>18	> 200
			0,25 ml	>18	>200
Se Preparó en 300 ml de agua estéril.	4	$10^{-13}$	2,0 ml	>18	> 200
			1,5 ml	>18	> 200
			1,0 ml	>18	> 200
			0,5 ml	>18	> 200
	4	$10^{-14}$	0,5 ml	>18	> 200
			1,0 ml	>18	> 200
			1,5 ml	>18	> 200
			2,0 ml	>18	>200

Tabla N° 5: Resultados de muestras de agua contaminadas artificialmente por las Técnicas del Número más Probable y por filtración en la determinación de Enterococos intestinales.

Los resultados obtenidos mostraron que las muestras inoculadas artificialmente no presentaron diferencias significativas, tanto en la determinación de Coliformes totales y *E.coli*, como también de Enterococos intestinales, en los niveles de contaminación ensayados.

Puede observarse que cuando en el método de filtración por membrana se contaron un número de colonias mayor de 18 ufc/100 ml, el valor obtenido por las técnica de fermentación por tubos múltiples fue de >18 NMP/100 ml, lo que hace a ambos resultados comparables y reproducibles (tabla 4).

Cabe destacar que cuando se logró en las técnicas del NMP tubos negativos (2 muestras en la determinación de Coliformes totales y *E.coli*) los resultados fueron reproducibles con las técnicas de filtración de membrana, dando un número bajo de unidad formadora de colonias similar al NMP/100 ml obtenido con las técnicas de fermentación de tubos múltiples (tabla 4). En relación al tiempo de análisis y a los costos de materiales, fueron superiores en las Técnicas Del Número Más Probable en aquellos casos en que las muestras analizadas fueron de agua potable o con un bajo grado de contaminación.

## 5. CONCLUSIONES

Las conclusiones del estudio comparativo de las Técnicas del Número Más Probable y los métodos de filtración por membrana fueron:

- Los métodos de filtración, tanto para la determinación de Coliformes totales y *E.coli* y Enterococos intestinales resultaron ser reproducibles con relación a las técnicas de fermentación por tubos múltiples, ya dieron resultados comparables tanto en muestras de agua potable y agua contaminada artificialmente con cepas tipificadas. En las muestras de agua potable los resultados obtenidos con ambas técnicas fueron idénticos. Con respecto a las muestras contaminadas artificialmente cuando en el método de filtración por membrana se contaron un número de colonias mayor de 18 ufc/100 ml, el valor obtenido por las técnica de fermentación por tubos múltiples fue de >18 NMP/100 ml, lo que demuestra que los resultados obtenidos son similares independientemente de la técnica aplicada.
- Los métodos de filtración por membrana mostraron igual sensibilidad que los métodos basado en la determinación del número más probable, tanto en la determinación de Coliformes totales y *E.coli* y Enterococos intestinales. ya que cuando se logró en las técnicas del NMP tubos negativos (2 muestras en la determinación de Coliformes totales y *E.coli*) los resultados fueron comparables y reproducibles. Las técnicas de filtración de membrana dieron un número bajo de unidad formadora de colonias similar al NMP/100 ml obtenido con las técnicas de fermentación de tubos múltiples. Sería necesario evaluar más muestras de agua con niveles bajo de contaminación para poder realizar un estudio estadístico que permita determinar exactamente la sensibilidad de ambos métodos en esos grados de contaminación.
- En las determinaciones de Coliformes totales y *E.coli* y Enterococos intestinales de muestras de agua con resultados “aptas para consumo” (muestras con baja contaminación), con ambas metodologías (NMP y Filtración), los de filtración con membrana resultaron más prácticos y rápidos, por la menor cantidad de material usado y el tiempo de preparación de los mismos.
- Tanto las técnicas de filtración y del número más probable son similarmente sensibles y reproducibles, estando las ventajas de su aplicación determinadas por limitaciones específicas de cada una y el grado de contaminación, siendo notable en el método de filtración la dificultad del conteo de las unidades formadoras de colonias en el caso de muestras muy contaminadas, debido al tamaño reducido de la placa.

## 6. REFERENCIAS

- [1] APHA, AWWA, WEF, *Standard Methods for the examination of water and wastewater* Ed. 21<sup>th</sup>, (2005).
- [2] Collins C.H. y Taylor C.E.D. *Métodos microbiológicos*. Ed. Acribia, Zaragoza, España, (1969).
- [3] Comisión del Codex Alimentarius. *Informe de la 21<sup>a</sup> Reunión del Comité del Codex sobre métodos de análisis y toma de muestras*, Ginebra, (1997).
- [4] Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba, *Normas provinciales de calidad y control de aguas de bebidas*, Volumen 1, Córdoba. Argentina, 1993.
- [5] Norma Española UNE-EN ISO 7899-2. *Detección y recuento de Enterococos intestinales. Parte 2: Método de filtración de membrana (ISO 7899-2:2000)*.
- [6] Norma Española UNE-EN ISO 9308-1. *Detección y recuento de Escherichia coli y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración de membrana (ISO 9308-1:2000)*.

## SÍNTESIS DE SILICATOS MESOPOROSOS MCM-41 PARA LA DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CONTAMINANTES EN SOLUCIÓN ACUOSA.

Elías<sup>1,2\*</sup>, Verónica R.; Sabre<sup>1</sup>, Ema V.; Ortiz<sup>1</sup>, Liliana E.; Casuscelli<sup>1,2</sup>, Sandra G. y Eimer<sup>1,2</sup>, Griselda A

1: Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ), Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba Capital.  
CP. 5016. <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/citeq>  
e-mail: [velias@scdt.frc.utn.edu.ar](mailto:velias@scdt.frc.utn.edu.ar)

2: CONICET.

**Palabras clave:** Efluentes acuosos, Degradación AO7, Fotocatálisis Heterogénea, Síntesis de materiales, MCM-41.

**Resumen.** *Los contaminantes emitidos de diferentes fuentes representan severos problemas ecológicos debido a que resisten a los tratamientos de degradación convencionales los cuales son ineficaces desde el punto de vista medioambiental. Así, en las últimas décadas han surgido los conocidos “Procesos de Oxidación Avanzados” dentro de los cuales la Fotocatálisis Heterogénea surge como un método más atractivo para el tratamiento de compuestos tóxicos presentes en efluentes acuosos. Este proceso se basa en la irradiación de un material semiconductor permitiendo la generación de sitios redox en la superficie del mismo y la consecuente formación de radicales (OH)<sup>•</sup> responsables de la degradación de los contaminantes orgánicos. En este trabajo se sintetizaron silicatos mesoporosos del tipo MCM-41 modificados con Cr y con Cr y Ti. Los materiales fueron caracterizados por: DRX, UVvis-RD, Fisisorción de N<sub>2</sub> y FRX. La fotoactividad de los materiales fue evaluada en la fotodegradación bajo radiación visible y UVvis del colorante Acido Naranja 7 (AO7) en solución acuosa. Se alcanzó una degradación de AO7 cercana al 80 % bajo radiación visible utilizando el catalizador modificado con Cr y Ti. Esta actividad fue asignada a la presencia de especies Cr<sup>6+</sup> y a un efecto sinérgico entre los metales Cr y Ti.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Desde la década del 60', diferentes países alrededor del mundo han comprendido la importancia de conjugar el enriquecimiento de las economías de sus países con la preservación del medio ambiente. En este sentido, el llamado “desarrollo sustentable” pasó a ser eje principal de los diálogos establecidos entre los países pertenecientes a la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Así, se han logrado ciertos avances en cuanto a los compromisos adquiridos por diferentes países en conciliar sus actividades económicas con la protección del medio ambiente. Uno de los más importantes bienes naturales es el *agua*. Esta sustancia no debe ser considerada desde un punto de vista simplemente comercial debido a

que es fundamental para el desarrollo del ser humano. Así, diversas políticas de preservación del medio ambiente incluyeron la adopción de medidas para el correcto uso y preservación de las fuentes de agua. Desde la celebración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro en 1992, las cuestiones relativas a la ordenación de los recursos de agua dulce han adquirido una importancia cada vez mayor en el ámbito internacional. Mediante la creación del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente “PNUMA” una serie de iniciativas y actividades se han desarrollado con el objetivo de responder a las crecientes cuestiones relativas al agua dulce tanto a nivel local como mundial. Según el informe del PNUMA 2003, el planeta Tierra tiene cerca de 1.5 billones de  $\text{km}^3$  de agua la cual cubre el 75 % de la superficie terrestre. Del total de agua el 97.5 % es salada y solo el 2.5 % es dulce. A esto hay que sumarle el gran problema que representa la distribución irregular de este recurso. Por su parte, los efluentes industriales, particularmente los provenientes de la industria textil, son reconocidos como importantes contaminantes debido al alto consumo de agua durante las operaciones de teñido [1-3]. Algunos de los contaminantes orgánicos más importantes se derivan de colorantes sintéticos [3-5]. Estos compuestos son ampliamente utilizados, no solo en la industria textil, sino también en la industria del cuero, de pinturas e imprentas donde son elegidos como colorantes para los productos debido a sus propiedades únicas como la alta resistencia en húmedo y relativo bajo costo [6,7]. Debido a que los colorantes azoicos presentes en los efluentes de las industrias textiles son difícilmente degradados por métodos biológicos convencionales, el desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento ha sido foco de intensas investigaciones. En este sentido, han surgido los llamados Procesos de Oxidación Avanzados (POAs) como prometedores métodos de eliminación de contaminantes presentes en agua. La principal ventaja de estos POAs radica en la capacidad de utilizar los altamente reactivos radicales hidroxilos en procesos de oxidación, permitiendo la completa eliminación y mineralización de varios contaminantes orgánicos como los azo-colorantes [8]. Si bien estos procesos permiten la degradación de la mayoría de los compuestos refractarios, los mismos pueden resultar costosos cuando se los compara con los convencionales tratamientos biológicos, químicos o físicos. No obstante, estos procesos pueden ser usados como pre-tratamientos para mejorar la biodegradabilidad de los compuestos recalcitrantes presentes en los efluentes. Uno de los POAs más efectivos usados en la remediación y tratamiento de una amplia variedad de contaminantes orgánicos y microbianos presentes en agua, es la *fotocatálisis heterogénea*. Es conocido que este método involucra la radiación con luz de un material semiconductor con la consecuente formación de pares electrón / hueco ( $e^-/h^+$ ). El fotocatalizador más estudiado es el  $\text{TiO}_2$  el cual tiene una diferencia energética entre las bandas de valencia y de conducción (band gap) de 3.2 eV. Por esta razón, un par  $e^-/h^+$  puede ser creado en este semiconductor solo cuando es absorbido un fotón de energía igual o superior a su band gap. Así, solo con luz ultravioleta (UV) puede ser generado el par  $e^-/h^+$  en el  $\text{TiO}_2$ . Una vez generado el par  $e^-/h^+$ , el proceso fotocatalítico continuará si este par llega a reaccionar con las distintas especies adsorbidas en la superficie del semiconductor dando lugar a una serie de reacciones que terminan en la generación de especies radicales altamente oxidantes que permiten alcanzar la degradación de los sustratos orgánicos. En este trabajo se sintetizaron silicatos mesoporosos del tipo MCM-41 modificados con dos metales de transición (Cr, Ti). La foto-actividad de los materiales fue evaluada en la foto-degradación bajo radiación visible y UVvis del colorante Acido Naranja 7 (AO7) en solución acuosa.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Síntesis del Material

La matriz silícea MCM-41 se sintetizó según lo reportado [9]. Para esto se siguió el método B, donde se utiliza bromuro de cetiltrimetilamonio (CTA) como surfactante y tetraetoxisilano como fuente de Si (TEOS). La mezcla de síntesis (pH 11.25) fue agitada a temperatura ambiente por 4 h. Luego, este gel fue calentado a 70 °C por 3h bajo agitación en un frasco cerrado. El sólido obtenido se filtró, lavó con agua destilada hasta ajustar el pH del agua de lavado a 7 y se secó por 12 h a 60 °C. Para eliminar el surfactante de los poros de la estructura, este material se sometió a un proceso de desorción con flujo de N<sub>2</sub> calentando a 500 °C y manteniendo esta temperatura por 6 h, seguido de calcinación bajo flujo de aire a la misma temperatura por 6 h más. La matriz MCM-41 fue luego modificada con Cr por el método de impregnación húmeda. El soporte MCM-41 se sometió nuevamente a calcinación a 500 °C para desgasar y eliminar totalmente el agua adsorbida de los poros de la estructura y se dispersó en una solución acuosa de Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O. La cantidad de sal a incorporar depende de la carga deseada, en este caso se evaluó una carga teórica del 3.50 % p/p de Cr en el soporte. En esta solución se dispersó la matriz MCM-41 a temperatura ambiente y luego se eliminó el agua utilizando un evaporador rotario y un baño a 50 °C durante 30 min de rotación con vacío. El sólido obtenido en forma de polvo se secó a 60 °C y luego se calcinó a 500 °C por 9 h. El material sintetizado se denominó: Cr/MCM-41(3.5), donde entre paréntesis figura la carga teórica de Cr. Luego estos materiales fueron además modificados por una ulterior carga de Ti. Para esto nuevamente se aplicó el método de impregnación húmeda siguiendo los pasos antes descriptos. En este caso el catalizador Cr/MCM-41(3.5) fue dispersado en una solución de n-butóxido de titanio en isopropanol. Este material se denominó: TiO<sub>2</sub>/Cr/MCM-41(3.5). Para comparar también se sintetizó el material TiO<sub>2</sub>/MCM-41, en donde se cargó titanio directamente sobre la matriz silícea pura.

### 2.2. Caracterización

Patrones de DRX fueron medidos utilizando un difractómetro Philips PW 3830 con radiación Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ ) en el rango de  $2\theta$  entre 1.5 – 7 ° y 20 – 80 °. Espectros de UVvis-RD en el modo absorbancia fueron medidos en el rango de longitudes de onda entre 200 – 900 nm utilizando un espectrómetro Optronics OL 750–427 equipado con una esfera integradora OL 740-70. El contenido final de Ti y Cr en los sólidos se determinó por fluorescencia de rayos X (FRX) usando un Innov-X System modelo ALPHA-4000. El área superficial, el volumen de poro y las curvas de distribución del tamaños de poros fueron determinados de las isothermas de adsorción - desorción de N<sub>2</sub> obtenidas a –196 °C usando un Micromeritics ASAP 2010. El área superficial fue determinada por el método BET en el rango de presiones relativas (P/P<sub>0</sub>) de 0.01–0.25. Las curvas de distribución de tamaño de poros se obtuvieron por el método (BJH), basado en la ecuación de Kelvin [10].

### 2.3. Evaluación Fotocatalítica

Las reacciones de degradación fotocatalítica se llevaron a cabo en un fotoreactor el cual consiste de un tubo de vidrio de borosilicato de 0.85 L de capacidad con una pieza de vidrio sinterizado colocado en el fondo y cuatro lámparas UVvis (Actinic BL 20 W, Philips) colocadas alrededor del tubo. Estas lámparas emiten un espectro continuo entre 350 y 400 nm y dos bandas a 404 y 438 nm. Para evitar la dispersión de la radiación una lámina de aluminio se coloca alrededor del fotoreactor. Para controlar la temperatura de la reacción un tubo de vidrio se colocó en el centro del reactor para permitir la circulación de agua de refrigeración. Para esto se utilizó una bomba de recirculación y un baño termostatzado, manteniendo la temperatura del medio a  $20 \pm 0.2$  °C. Para excluir la radiación UV ( $< 380$  nm) en las evaluaciones fotocatalíticas llevadas a cabo bajo radiación visible es necesario asegurarse que solo ésta alcance la suspensión del catalizador. Con este objetivo se colocó un filtro de acrílico de 4 mm de grosor entre las lámparas y el tubo de vidrio. De esta manera dos bandas de la radiación de las lámparas están disponibles para la reacción. Es importante tener en cuenta que al estar colocado el filtro la radiación disponible es aproximadamente el 10 % de la emitida por las lámparas. El volumen de reacción utilizado en cada experimento es de 0.5 L con una concentración inicial de AO7 y de catalizador de 20 ppm y 1 g / L, respectivamente. Antes de cada reacción, el catalizador fue calcinado a 500 °C. Para asegurar una adecuada suspensión del catalizador, un flujo de aire de 1 L / min fue inyectado desde un compresor a través de la pieza de vidrio sinterizado colocado en el fondo del reactor. Con este flujo se aseguró que sea alcanzada una saturación de oxígeno del 90 %. Todos los experimentos fueron llevados a cabo en condiciones de pH natural ( $\sim 5$ ). Antes de comenzar la irradiación, la suspensión fue agitada en la oscuridad bajo flujo de aire por 45 min para alcanzar el equilibrio de adsorción – desorción. Luego de este periodo, una muestra inicial fue extraída para poder calcular la concentración inicial ( $C_0$ ) y luego, se comienza la corrida experimental. Se tomaron muestras a intervalos de 1 h. La concentración ( $C$ ) de AO7 fue monitoreada midiendo la absorbancia a una longitud de onda de 485 nm utilizando un espectrómetro Jasco 7800. El porcentaje de degradación se calculó según la siguiente ecuación:

$$X = \frac{C_0 - C}{C_0} 100 \quad (1)$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se encuentran los valores de composición química y propiedades estructurales de los diferentes catalizadores preparados. En la Figura 1 se muestran los patrones de DRX de todas las muestras sintetizadas. Las líneas de difracción bien resueltas en el rango de  $2\theta$  de  $1.5-7^\circ$  pueden indexarse a las reflexiones (100), (110) y (200) características de estructuras con arreglo hexagonal de mesoporos [9]. Estos resultados dan cuenta de la retención de la estructura MCM-41 del soporte luego de la carga de Cr. Si bien se observan algunas modificaciones en los difractogramas de las muestras cuando fueron adicionalmente cargadas con  $TiO_2$ , la presencia de los tres picos de difracción indican la retención de la estructura mesoporosa. Por otro lado, los patrones de DRX a alto ángulo no exhibieron picos correspondientes a óxidos de Cr en las muestras cargadas con este metal. Este hecho indica que las partículas de óxido, si existen, son muy pequeñas como para ser detectadas por DRX,

son amorfas o realmente no están presentes en la estructura. En cambio en las muestras cargadas con  $\text{TiO}_2$ , las líneas de difracción a  $2\theta = 25, 37, 48, 54, 55$  y  $63^\circ$  indican la presencia de fase cristalina anatasa [11]. Es importante destacar que la presencia de grandes partículas de óxido  $\text{TiO}_2$  en la superficie externa del soporte no nos permite descartar la existencia de diferentes especies metálicas ancladas o altamente dispersas dentro de los canales mesoporosos.

Muestra	Ti <sup>a</sup> (%p/p)	Cr <sup>a</sup> (% p/p)	Area (m <sup>2</sup> /g)	Vp (cm <sup>3</sup> /g)	Dp <sup>b</sup> (Å)	Ep <sup>c</sup> (Å)
MCM-41	-	-	1182	1.15	27.0	14.9
TiO <sub>2</sub> /MCM-41	21.729	-	849	0.80	26.0	14.8
Cr/MCM-41(3.5)	-	2.048	1071	0.864	25.2	13.5
TiO <sub>2</sub> /Cr/MCM-41(3.5)	22.166	1.336	741	0.47	23.3	18.6

<sup>a</sup> Medido por FRX.

<sup>b</sup> Diámetro de poro correspondiente al máximo de la curva de distribución de tamaño de poros obtenida por el método BJH.

<sup>c</sup> Espesor de pared:  $Ep = a_0 - Dp$ .

Tabla 1: Composición química y propiedades estructurales y texturales de las muestras calcinadas.

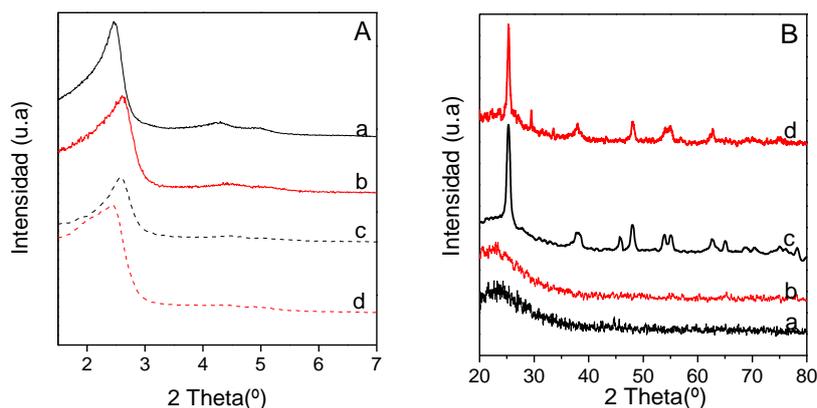


Figura 1. Difractogramas de rayos x (A) a bajo ángulo y (B) a alto ángulo, correspondientes a las muestras (a) MCM-41, (b) Cr/MCM-41(3.5), (c) TiO<sub>2</sub>/MCM-4, (d) TiO<sub>2</sub>/Cr/MCM-41(3.5).

Las isothermas de adsorción/desorción de  $\text{N}_2$  y las curvas de distribución de tamaño de poro de todas las muestras sintetizadas se muestran en la Figura 2 A. Los datos de volumen, diámetro y espesor de pared de poro figuran en la Tabla 1. Todas las muestras exhibieron isothermas tipo IV típicas de estructuras mesoporosas con una inflexión alrededor de  $P/P_0$  de 0.1-0.25 característica de la condensación capilar dentro de los mesoporos [12]. Esta marcada inflexión [13] asociada a las estrechas curvas de distribución (Figura 2 B) indican la uniformidad de los canales de los poros, incluso cuando  $\text{TiO}_2$  fue cargado sobre el material previamente modificados con Cr. Todas las isothermas presentan pequeños loops de histéresis con ramas de adsorción y desorción paralelas, las cuales se cierran a presiones relativas de saturación. Estos loops son clasificados como H4 según IUPAC. El paralelismo de las ramas del loop de histéresis para materiales del tipo MCM-41 es frecuentemente asociado a estrechos poros tipo rendija [14,15]. Por su parte, algunos autores han asociado la baja área de los loops con la

presencia de poros cilíndricos de muy pequeño tamaño [14-16]. Por otro lado, es posible descartar la presencia de poros tipo tintero debido la suave pendiente en la curva de desorción a  $P/P_0$  alrededor de 0.45-05. En comparación con el soporte MCM-41 la muestra modificada con Cr presentó una disminución del área y volumen de poro. Esta disminución podría asociarse a la presencia de clusters y/o especies de Cr tanto sobre la superficie interna como externa. Cuando además se depositó titanía sobre la muestra se produjo una disminución adicional en el área superficial y el volumen de poro. Esta disminución puede ser asociada a la presencia de especies de Ti altamente dispersas sobre la superficie de los canales, como también a nano-partículas de  $TiO_2$  que estarían bloqueando los poros de la estructura. La carga de Ti sobre la muestra previamente modificada con Cr, provocó un marcado incremento en el espesor de las paredes de los poros. La fácil difusión de las especies de Ti hacia el interior de los canales podría estar favorecida por la alta dispersión sobre la superficie de los poros de especies de Cr de muy pequeño tamaño.

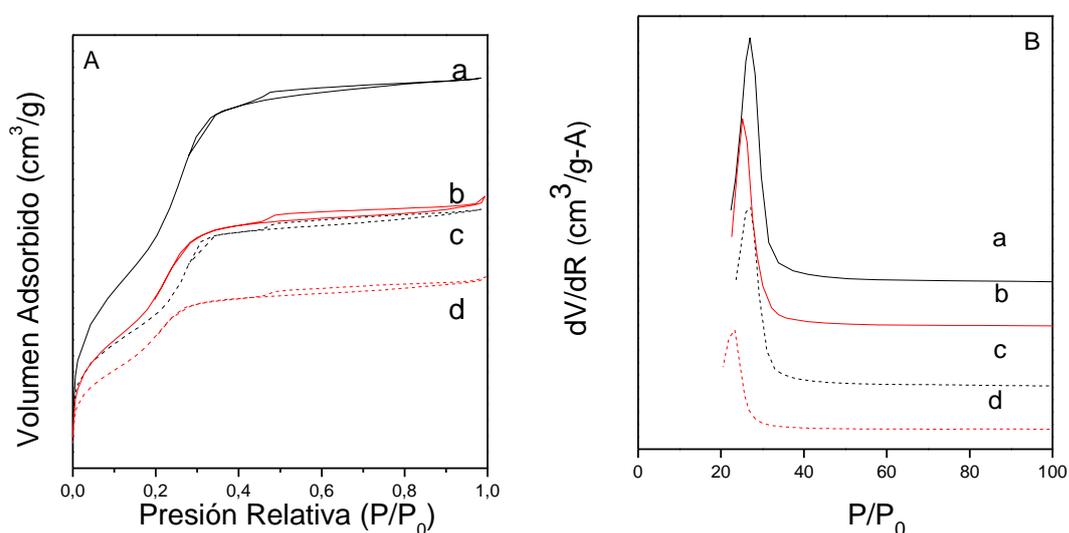


Figura 2. (A) Isothermas de adsorción-desorción de  $N_2$  y (B) distribución de  $D_p$  correspondientes a las muestras (a) MCM-41, (b) Cr/MCM-41(3.5), (c)  $TiO_2$ /MCM-4, (d)  $TiO_2$ /Cr/MCM-41(3.5).

Con el objetivo de dilucidar el entorno de coordinación de las especies metálicas en la estructura MCM-41, se utilizó la técnica de UVvis-RD. Estos espectros se muestran en la Figura 3. Los materiales modificados con Cr presentan 4 regiones de absorción. La región entre 200-400 nm es asignada a la transferencia de carga  $O^{2-} \rightarrow Cr^{6+}$  en especies monocromato ( $CrO_4$ )<sup>2-</sup>. La región entre 400-550 nm corresponde a especies  $Cr^{6+}$  en di/policromatos, aunque a 450 nm puede también ser asignada a especies de  $Cr^{3+}$  octaédricas presentes en pequeños cluster de  $Cr_2O_3$ . En tanto la absorción a mayores longitudes de onda (>550 nm) es asignada a  $Cr^{3+}$  en nano-partículas de  $\alpha$ - $Cr_2O_3$  [17]. En el espectro de la muestra Cr/MCM-41(3.5) es clara la baja presencia de especies  $Cr^{3+}$  lo cual puede deberse a la baja carga de Cr, resultando en una baja absorción alrededor de 400 nm y ausencia de absorción por encima de 550 nm. Con respecto a la muestra  $TiO_2$ /Cr/MCM-41(3.5) en comparación con la  $TiO_2$ /MCM-41 es importante destacar que su habilidad para absorber luz en el rango visible está relacionada a la presencia de Cr [18]. No obstante, la absorción en el rango UV puede

adjudicarse también a la carga de titanio. Algunos autores han relacionado la absorción en el rango 370-500 nm con un efecto de heteroconjugación entre las especies del Cr y Ti [19]. Comparando los espectros de las muestras Cr/MCM-41(3.5) y TiO<sub>2</sub>/Cr-MCM-41(3.5) es notable la absorción en la región entre 650-850 nm producida por las muestras luego de la carga con titanio. La habilidad para absorber en esta región podría ser también asociada a un efecto sinérgico entre el Cr y el Ti.

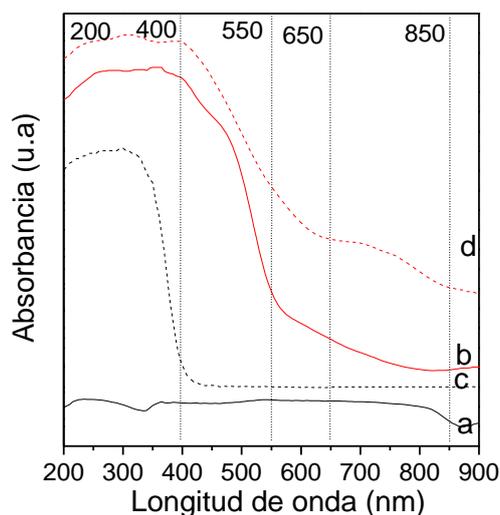


Figura 3. Espectros de UV-vis con reflectancia difusa correspondientes a las muestras (a) MCM-41, (b) Cr/MCM-41(3.5), (c) TiO<sub>2</sub>/MCM-4, (d) TiO<sub>2</sub>/Cr/MCM-41(3.5).

En la Tabla 2 se presentan los valores de la degradación del AO7 bajo radiación visible y UV-vis sobre los distintos materiales sintetizados. Con la muestra Cr/MCM-41(3.5) la degradación alcanzada fue de aproximadamente 67 %. La posterior carga de titanio permitió un incremento en la degradación de AO7, llegando a valores de alrededor del 80 %. Como se mencionó anteriormente, para las muestras Cr/MCM-41(3.5) y TiO<sub>2</sub>/Cr/MCM-41(3.5) el análisis de UV-vis RD mostró que el Cr<sup>6+</sup> es la principal especie. Además por DRX no se observó la presencia de partículas de óxido de Cr<sup>3+</sup>. Estos resultados y los valores de degradación de AO7 alcanzada bajo radiación visible, nos permiten sugerir que la especie de Cr responsable de la fotoactividad es el Cr<sup>6+</sup>. Cuando se agrega TiO<sub>2</sub> al catalizador el incremento en la actividad puede entonces correlacionarse con un efecto sinérgico entre las especies Cr y Ti, evidenciado por la absorción en las regiones 370-550 y 650-850 nm del espectro de UVvis-RD. Este efecto podría atribuirse principalmente a dos hechos: 1) la alta dispersión de las especies Cr<sup>6+</sup> y 2) la alta dispersión de las especies de Ti interactuando con el Cr<sup>6+</sup>. El ensanchamiento de las paredes de los poros para esta muestra, estaría dando cuenta de la difusión de las especies de Ti hacia el interior de los canales posibilitando la heteroconjugación.

Catalizador	X <sup>a</sup> Radiación Visible	X <sup>a</sup> Radiación UVvis
MCM-41	-	-
Cr/MCM-41(3.5)	67.36 (±0.08)	92.71 (±0.07)
TiO <sub>2</sub> /MCM-41	9.50 (±0.08)	51.25 (±0.10)
TiO <sub>2</sub> /Cr/MCM-41(3.5)	78.76 (±0.10)	94.79 (±0.08)

<sup>a</sup> Entre paréntesis se presenta el límite de confianza para un 95 %.

Tabla 2: Porcentaje de degradación de AO7 (X) utilizando radiación Visible y UVvis luego de 5 h de reacción. Condiciones experimentales: bajo flujo de aire, pH= 5; [AO7]<sub>0</sub>= 20 ppm; [catalizador]= 1 g/L

Con el objetivo de confirmar que el Cr<sup>6+</sup> presente en la muestra Cr/MCM-41(3.5) es el responsable de la alta fotoactividad bajo radiación visible, el catalizador se sometió a un tratamiento de reducción bajo flujo de H<sub>2</sub> y luego se lo evaluó en la degradación de AO7. Para reducir todas las especies de Cr<sup>6+</sup> a Cr<sup>3+</sup>, el sólido fue calentado bajo flujo de H<sub>2</sub> (10 °C/min) hasta 600 °C manteniendo esta temperatura por 6 h.

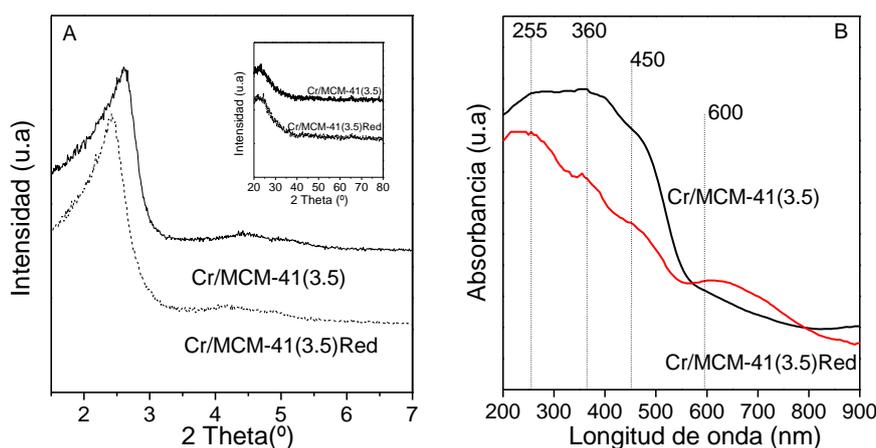


Figura 4. (A) Difractograma a bajo y alto ángulo (figura insertada) y (B) espectros de UV-vis con reflectancia difusa correspondientes a las muestras Cr/MCM-41(3.5) yCr/MCM-41(3.5) Red.

Como puede observarse en la Figura 4A la estructura mesoporosa se retuvo luego del tratamiento de reducción. Por su parte, en los difractogramas a alto ángulo, la ausencia de picos asignables a óxidos de Cr<sup>3+</sup> luego de la reducción sugiere nuevamente que, si estos óxidos están presentes, son amorfos o muy pequeños para ser detectados por DRX. Por UVvis-RD (Figura 4B) es muy notable la diferencia en la habilidad de absorción de la muestra antes y después de ser sometida a reducción. De hecho la muestra reducida presenta una baja absorción en la región de longitudes de onda correspondiente a las especies de Cr de alto estado de oxidación. En cambio fue observado un incremento notable de la absorción a longitudes mayores a 550 nm que corresponde a clusters o nano-partículas de  $\alpha$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Este análisis nos permite deducir que, aunque la presencia de nanopartículas de  $\alpha$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no haya sido evidenciada por DRX, las mismas están presentes en la muestra luego de la reducción. Este catalizador reducido no presentó actividad cuando se evaluó en la degradación de AO7

( $X < 2\%$ ), corroborando que la alta actividad del catalizador Cr/MCM-41(3.5) corresponde a la presencia de las especies  $\text{Cr}^{6+}$ . Por otra parte, para determinar la dependencia de la reacción con la presencia de oxígeno, se evaluó el catalizador que mostró mayor degradación ( $\text{TiO}_2/\text{Cr}/\text{MCM-41}(3.5)$ ), pero utilizando flujo de  $\text{N}_2$  en lugar de aire. El resultado de esta prueba fue una disminución en la degradación de AO7 de aproximadamente un 35 %. Este resultado indica que la degradación del colorante es un proceso que depende de la presencia de oxígeno. De acuerdo a lo reportado en la literatura [8,20], uno de los mecanismos más aceptados para explicar las reacciones de degradación fotocatalíticas establece que los electrones y huecos generados en el catalizador interactúan con las especies adsorbidas sobre la superficie del mismo cuando este se encuentra en la suspensión acuosa. Así, particularmente las especiesceptoras de electrones como el  $\text{O}_2$  reaccionan con estos reduciéndose y generando especies radicalarias responsables de la degradación de las moléculas orgánicas [8,20].

Los cambios en el espectro de UVvis del colorante AO7 con el tiempo de reacción se muestran en la Figura 5. El espectro del AO7 (muestra inicial) presenta picos a 311, 230 y una ancha banda en la región visible a 485 nm. Los picos a 230 y 311 nm son asignados a los anillos de benceno y naftaleno, respectivamente [21] y la banda con el máximo a 485 nm se asigna al grupo azo del AO7. En la Figura 5 se ve claramente que las absorciones a 230, 311 y 485 nm disminuyen con el tiempo de reacción, resultando en un 80 % de decoloración de la solución luego de 5 h de reacción y prácticamente una total desaparición de los intermediarios que contienen anillos de naftaleno. Esto último se hace evidente debido a la desaparición del pico de absorción a 311 nm.

La degradación de AO7 alcanzada cuando se utilizó radiación UVvis fue mayor que la observada con radiación visible. Una degradación del 51 % fue observada para la muestra  $\text{TiO}_2/\text{MCM-41}$ . En tanto con la muestra  $\text{TiO}_2/\text{Cr}/\text{MCM-41}(3.5)$  se logró una degradación prácticamente total del colorante. Esto puede asignarse a la mayor radiación que llega al reactor cuando no están colocados los filtros de acrílico, como así también a la actividad adicional que tiene el propio Ti bajo radiación UV.

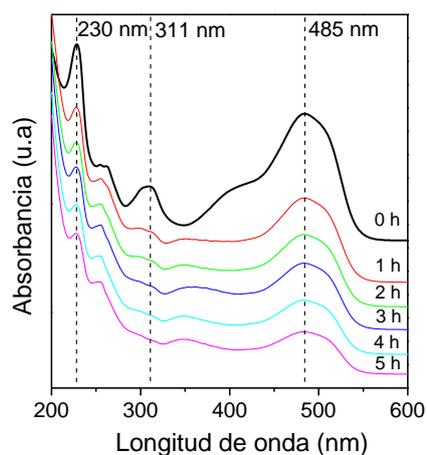


Figura 5. Cambios en el espectro de UVvis de la solución acuosa del colorante AO7 con el tiempo de irradiación bajo luz visible utilizando como catalizador la muestra  $\text{TiO}_2/\text{Cr}/\text{MCM-41}(3.5)$ .

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se prepararon materiales mesoporosos modificados con Cr y Ti por el método de impregnación vía húmeda. Todos presentaron patrones de DRX, áreas superficiales e isotermas de adsorción de N<sub>2</sub> típicas de materiales mesoporosos ordenados del tipo MCM-41. La carga de ambos metales no modificó marcadamente la estructura manteniéndose el ordenamiento del soporte silíceo. Por DRX a alto ángulo se verificó la ausencia de nanopartículas de  $\alpha$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y la presencia de la fase TiO<sub>2</sub> anatasa en los catalizadores modificados con Ti. La incorporación de Ti a la muestra Cr/MCM-41(3.5) provocó ensanchamiento de las paredes de los poros evidenciando la difusión de especies Ti dentro de los canales, lo cual es favorecido por la alta dispersión de especies Cr<sup>6+</sup> y la ausencia de nanopartículas de  $\alpha$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El análisis de UVvis-DR de la muestra TiO<sub>2</sub>/Cr/MCM-41(3.5) demostró que la absorción en el rango entre 370-500 nm y 650-850 nm puede asociarse a un efecto sinérgico o de heteroconjugación entre Cr y Ti lo cual se traduce en un incremento en la fotodegradación del colorante estudiado.

#### REFERENCIAS

- [1] C. Guillard, J. Disdier, J. Dussaud, S. Malato, J. Blanco, M.I. Maldonado, J. M. Herrmann, "Solar efficiency of a new deposited titania photocatalyst: chlorophenol, pesticide and dye removal applications", *Appl. Catal., B*. Vol. 46, pp. 319-332, (2003).
- [2] H. Pinheiro, E. Touraud, O. Thomas, "Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters", *Dyes Pigm.* Vol. 61, pp. 121-139, (2004).
- [3] C. Auer, A. Kalt, "Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO<sub>2</sub>", *J. Photochem. Photobiol., A*. Vol. 140, pp. 87-92, (2001).
- [4] M. Janus, "New method of improving photocatalytic activity of commercial Degussa P25 for azo dyes decomposition", *Appl. Catal., B*. Vol. 75, pp. 118-123, (2007).
- [5] P. Peralta-Zamora, C. Pereira, M. Rosa, R. Minussi, N. Durán, "Decolorization of reactive dyes by immobilized laccase", *Appl. Catal., B*. Vol. 42, pp. 131-144, (2003).
- [6] M. Neamtu, C. Zaharia, C. Catrinescu, A. Yediler, M. Macoveanu, A. Kettrup, "Fe-exchanged Y zeolite as catalyst for wet peroxide oxidation of reactive azo dye Procion Marine H-EXL", *Appl. Catal. B*. Vol. 48, pp. 287-294, (2004).
- [7] M. Catanho, G. Malpass, A. Motheo, "Photoelectrochemical treatment of the dye reactive red 198 using DSA® electrodes", *Appl. Catal., B*. Vol. 62, pp. 193-200, (2006).
- [8] I. Konstantinou, T. Albanis, "TiO<sub>2</sub>-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations: A review", *Appl. Catal. B*. Vol. 49, pp. 1-14, (2004).
- [9] V. Elías, M. Crivello, E. Herrero, S. Casuscelli, G.A. Eimer, "Some considerations to optimize the synthesis procedure and the structural quality of mesostructured silicas", *J. Non-Cryst. Solids*. Vol. 355, pp. 1269-1273, (2009).
- [10] S. Gregg, K. Sing, *Adsorption, Surface Area and Porosity*, Academic Press, Londres, (1982).
- [11] S. Awate, N. Jacob, S. Deshpande, A. Belhekar, "Synthesis, characterization and photocatalytic degradation of aqueous eosin over Cr containing Ti/MCM-41 and SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> catalysts using visible light", *J. Mol. Catal. A*. Vol. 226, pp. 149-154, (2005).

- [12] K.S.W. Sing, D.H. Everett, J. Rouquerol, T. Siemieniewska, "Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity", *Pure & App. Chem.* Vol. 57, pp. 603-619, (1985).
- [13] M. Kruk, M. Jaroniec, "Characterization of high-quality MCM-48 and SBA-1 mesoporous silicas", *Chem. Mater.* Vol.11, pp. 2568-2572, (1999).
- [14] M. Kruk, M. Jaroniec, "Gas adsorption characterization of ordered organic-inorganic nanocomposites materials", *Chem. Mater.* Vol. 13, pp. 3169-3183, (2001).
- [15] S. Shylesh, P. Samuel, A. Sing, "Chromium-containing small pore mesoporous silicas: Synthesis, characterization and catalytic behavior in the liquid phase oxidation of cyclohexane", *Appl. Catal., A.* Vol. 318, pp. 128-136, (2007).
- [16] F. Rouquerol, J. Rouquerol, K. Sing, "Adsorption by Powders and Porous Solids. Principles, Methodology and Applications"; Academic Press: Boston, (1999).
- [17] V. Elías, et. Al., "MCM-41-based materials for the photo-catalytic degradation of Acid orange 7", *Catal. Today* (2011), doi: 10.1016/j.cattod.2011.05.003.
- [18] J.A. Pedraza-Avella, R. López, F. Martínez-Ortega, E.A. Páez-Mozo, R. Gómez, "Effect of Chromium Doping on Visible Light Absorption of Nanosized Titania Sol-Gel", *J. Nano Res.* Vol. 5, pp. 95-104, (2009).
- [19] F. Marques, M. Canela, A. Stumbo, "Use of TiO<sub>2</sub>/Cr-MCM-41 molecular sieve irradiated with visible light for the degradation of thiophene in the gas phase", *Catal. Today.* Vol. 133-135, pp. 594-599, (2008).
- [20] D. Robert, S. Malato, "Solar photocatalysis: A clean process for water detoxification", *Sci. Total Environ.* Vol. 291, pp. 85-97, (2002).
- [21] M. Styliadi, D.I. Kondarides, X.E. Verykios, "Pathways of solar light-induced photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions" *Appl. Catal. B.* Vol. 40, pp. 271-286, (2003).



## **INFLUENCIA DEL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE RAFAELA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**Panigatti, Ma. Cecilia\*; Boglione, Rosana; Griffa, Carina;  
Cassina, David; Schierano, Ma. Celeste**

Facultad Regional Rafaela.  
Universidad Tecnológica Nacional.  
Bv Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina  
TE: (03492) 432702. FAX: (03492) 432710  
maria.panigatti@frra.utn.edu.ar

**Palabras claves:** Relleno Sanitario, Agua Subterránea, Contaminación.

**Resumen.** *El crecimiento urbano y el desarrollo tecnológico, incrementaron los residuos, en los últimos tiempos. Una alternativa es disponerlos en rellenos sanitarios (RS), adoptada por la Municipalidad de Rafaela. En éste se reciben: material orgánico, material reciclable y residuos verdes. Para estudiar la influencia del predio en las aguas subterráneas se realizaron pozos de monitoreo aguas arriba y aguas abajo. La toma de muestra y caracterización fisicoquímica se efectuaron semestralmente, y previo al inicio del funcionamiento del RS. Los valores de pH no variaron significativamente. En algunos parámetros, se observaron aumentos de concentraciones tanto aguas arribas como abajo. No se puede atribuir la influencia del RS en la contaminación del agua subterránea, sino que la variabilidad corresponde a las características de la misma en esta región. El contenido de nitrógeno y DBO aumenta luego del inicio de las actividades, lo que podría deberse a los residuos verdes depositados fuera de la celda y la contaminación proveniente de la ciudad. En ninguno de los pozos se encontró la presencia de metales pesados. Esto se atribuiría fundamentalmente al sistema de impermeabilización que poseen las celdas. No se observa una importante contaminación de las aguas subterráneas como consecuencia de la actividad del RS.*

### **INTRODUCCIÓN**

La ciudad de Rafaela está ubicada en el centro oeste de la provincia de Santa Fe, sobre la llanura pampeana, a una altitud de 100 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza por tener clima templado y un promedio anual de precipitaciones de 951 milímetros. Cuenta actualmente, con alrededor de ciento veinte mil habitantes y posee una amplia y variada actividad industrial, conformada principalmente por industrias metalmecánicas, alimenticias y de envases.

Anteriormente, los residuos originados por la población eran arrojados en un basural a cielo abierto, originando así grandes contaminaciones ambientales y el consecuente peligro para la salud poblacional. Todos estos desechos, se fueron degradando y por consiguiente contaminando el suelo y las napas freáticas, ya que éste no poseía ningún tipo de impermeabilización. Debido a esto, el basural ha sido eliminado y reemplazado por un Relleno Sanitario (RS).

Los vertederos incontrolados y los rellenos sanitarios mal operados provocan un gran impacto al medio ambiente; principalmente por la emisión de contaminantes como el biogás y los lixiviados. Por esta razón, resulta necesario tener la capacidad de predecir el comportamiento que tendrán este tipo de obras y su relación con el agua, ya sea interna o externa.

En la búsqueda de soluciones orientadas a paliar esta problemática, una alternativa es disponer los residuos en sitios denominados rellenos sanitarios, ya que resulta una opción económica y técnicamente propicia. Este método, busca minimizar los perjuicios al medioambiente, controlando los efectos potenciales de contaminación, mediante el adecuado tratamiento de los efluentes líquidos y gaseosos que produce la basura al descomponerse.

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales son confinados en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud de la población.

El lixiviado es considerado como el principal y gran contaminante de un relleno. La protección a los mantos acuíferos tiene la función de evitar el ingreso de los mismos, evitando escurrimientos pluviales al confinamiento e impermeabilizar el terreno.

Desde julio de 2003, la Municipalidad de la ciudad de Rafaela, posee un Relleno Sanitario (RS), el cual se desarrolla dentro del espacio físico denominado Planta de Tratamiento y Disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.) y Residuos Sólidos Especiales (R.S.E.). En el año 2005 inaugura la Planta de Recupero y se forma la Cooperativa de Recicladores. También cuenta con un sector de disposición y reducción de orgánicos provenientes de podas, desmalezados, extracción de árboles, corte de césped, mantenimiento de espacios públicos, etc. A su vez, ingresan otros tipos de residuos caracterizados con los nombres: Estación de Residuos Clasificados (ERC), que incluyen la limpieza de calles, barros y grasas, animales muertos, tierra, escombros y material de construcción, polietileno, cartones y papeles, plásticos en general, neumáticos, etc. Actualmente, en la planta no se cuenta con tratamiento de lixiviado, por lo que éstos se recirculan dentro de la celda.

## **OBJETIVO**

El objetivo del trabajo, es evaluar la influencia del Relleno Sanitario de la ciudad de Rafaela en la calidad de las aguas subterráneas.

## **METODOLOGÍA**

En la Planta de Tratamiento y Disposición final de R.S.U. y R.S.E de la ciudad se reciben, dos veces por semana, los residuos de la llamada “recolección diferenciada”, donde los ciudadanos preclasifican y separan el material reciclable en origen (plásticos, vidrios, cartón y papeles, metales, etc.). La recolección domiciliaria común, compuesta principalmente por residuos orgánicos, se realiza cuatro días a la semana. A su vez, mensualmente se efectúa una recolección selectiva de residuos orgánicos e inorgánicos (por separado) correspondientes a limpieza de patios y jardines.

Es común el empleo de sistemas de impermeabilización sintéticos, para la protección del suelo y los acuíferos en los sitios de disposición final de residuos sólidos. En el predio en estudio, la celda (105 m de ancho) actualmente mide 295 metros de largo; los primeros 100 m contienen una primera capa de protección de suelo bentonita (60 cm) y una membrana de polietileno de 1500 micrones. En los restantes 195 metros, la primera capa es una membrana artificial (geobentonita, 7 mm de espesor) y por arriba de la misma, una membrana de

polietileno alta densidad de 1500 micrones. Por sobre esta última, se ha colocado una capa de suelo de protección de 40 cm. Esta disposición de las membranas fue variando debido al incremento de los costos de las mismas.

En base a estudios hidrogeológicos realizados, se tuvo en cuenta el diseño de la red de monitoreo de aguas subterráneas, para evaluar la influencia del relleno sanitario en las mismas. Dicha red está constituida por pozos de monitoreo ubicados aguas arriba y aguas abajo del emplazamiento del relleno sanitario, de acuerdo a las escorrentías determinadas en los estudios. Se realizaron 3 pozos de monitoreo aguas arriba y 4 aguas abajo del mismo, según se puede observar en la Figura 1. Las profundidades de los pozos son: 25 metros (4 pozos) y 12 metros (3 pozos).

Se comenzó con el monitoreo del agua subterránea en el año 2000, previo al inicio del funcionamiento del relleno sanitario y abarca hasta marzo del presente año. Luego del comienzo de las actividades (año 2003), se continuó con la caracterización fisicoquímica de las aguas en los pozos mencionados. La toma de muestra se realizó semestralmente y se utilizó para tal fin, una bomba de extracción, recolectando el agua en recipientes plásticos para los análisis fisicoquímicos correspondientes.

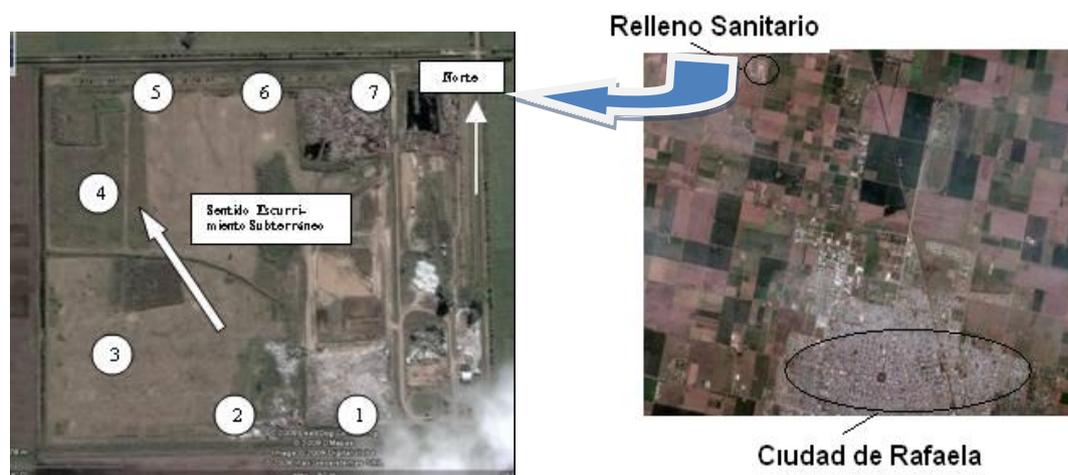


Figura 1: Foto satelital del predio correspondiente al RS de la ciudad de Rafaela. Includiendo los pozos de monitoreo de aguas subterráneas.

Para evaluar la calidad del agua, en cada uno de los pozos, se determinaron las siguientes variables fisicoquímicas: pH, Conductividad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (20 °C a 5 días) (DBO<sub>5</sub>), Alcalinidad Total, Dureza Total, Calcio, Magnesio, Cloruro, Sulfato, Cromo Total, Fósforo, Cianuro, Nitrógeno Total, Arsénico, Cadmio, Cinc, Cobre, Manganeseo, Mercurio, Níquel, Plomo y Potasio. Para todos los análisis se utilizaron los métodos propuestos por APHA [1].

## RESULTADOS

Uno de los principales aspectos ambientales que se busca proteger con la disposición final sanitaria de los residuos sólidos, lo constituye la calidad de las aguas subterráneas.

En el presente estudio, se analiza el impacto del relleno sanitario de la ciudad de Rafaela en la calidad de las aguas subterráneas. Los valores de pH se encuentran dentro de un intervalo

ligeramente alcalino, y no varían significativamente, en ninguno de los pozos, después del inicio del relleno sanitario. Tampoco varía aguas abajo respecto a aguas arriba, oscilando entre 7,1 y 8,3.

En la Figura 2 se presentan los valores promedio obtenidos para conductividad. Se puede observar un aumento del parámetro después de comenzado el funcionamiento del relleno sanitario, pero este hecho se da en mayor medida aguas arriba del predio.

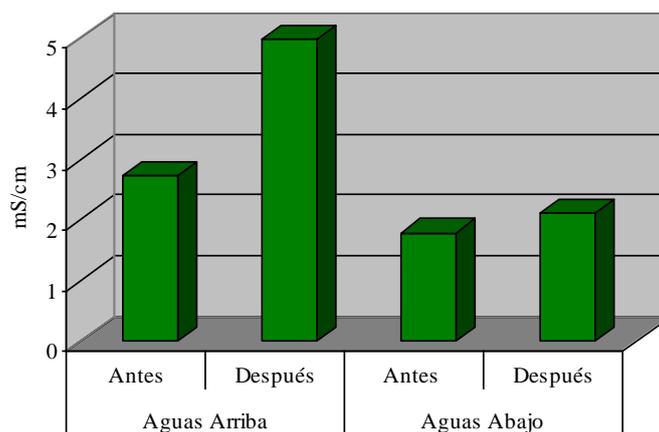


Figura 2: Gráfico comparativo de los valores promedio de conductividad, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

Los tipos y concentraciones naturales de iones que contiene el agua subterránea dependen de la naturaleza del material geológico a partir del cual se mueve la misma, y la calidad del agua de reposición. El agua subterránea que se desplaza a través de rocas y suelos sedimentarios puede poseer grandes cantidades de materiales y compuestos, tales como el magnesio, calcio, cloruros y sulfatos. Éstos son algunos de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, la cual puede ser evaluada como conductividad y sólidos disueltos.

Al analizar las concentraciones de los cationes y aniones presentes en las aguas subterráneas del predio del RS se evidencian aumentos tanto aguas arriba como aguas abajo, luego del comienzo del funcionamiento del RS.

El calcio y el magnesio son elementos sumamente frecuentes y dan lugar al concepto de dureza. Normalmente forman sales solubles con muchos aniones (bicarbonato, sulfato, cloruro, fluoruro, etc.), lo que los convierte en cationes mayoritarios de las aguas. Las concentraciones de calcio en agua varían mucho, estando asociadas al nivel de mineralización, por esto mismo, las aguas subterráneas presenta comúnmente mayores contenidos que las superficiales [2]. En la Figura 3, se presentan los resultados correspondientes a dichos parámetros. Al analizar las concentraciones de dureza total, se observa un aumento luego del comienzo de las actividades. En función de los resultados obtenidos, todas las muestras analizadas, se clasifican como medianamente duras a duras.

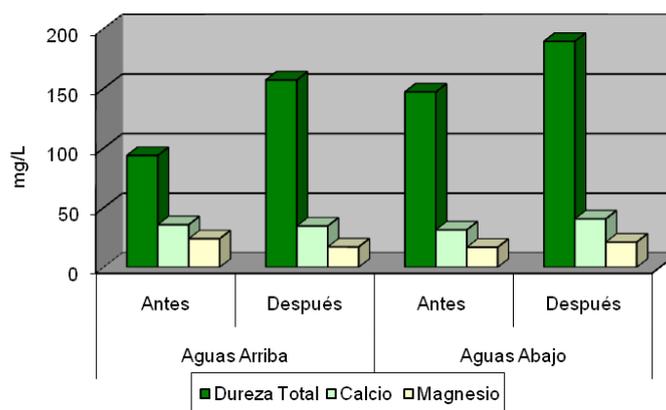


Figura 3: Gráfico comparativo de los valores promedio de Dureza Total, Calcio y Magnesio, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

En la figura 4 se grafican las concentraciones promedio para los aniones sulfatos y cloruros. Para ambos iones, los valores encontrados agua arriba son significativamente superiores respecto de aguas abajo. En este sector (aguas abajo), si bien hay una amplia disminución de las concentraciones de estos iones, el ion cloruro aumenta luego de iniciado el funcionamiento del Relleno Sanitario. Estos resultados se condicen con los obtenidos para conductividad.

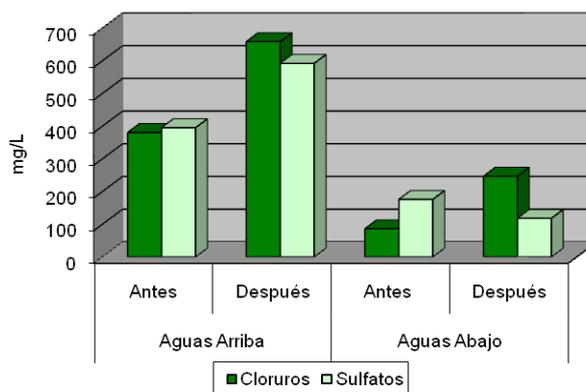


Figura 4: Gráfico comparativo de los valores promedio de Cloruros y Sulfatos, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

El potasio es uno de los cationes mayoritarios de las aguas naturales, en consonancia con su amplia difusión en la naturaleza bajo la forma de cloruros, sulfatos, fluoruros y fosfatos, así como en las arcillas y micas [2]. En la Figura 5 se puede observar la variación de las concentraciones promedios de potasio. Se evidencia un aumento de la concentración del ion, siendo algo más importante el incremento aguas abajo.

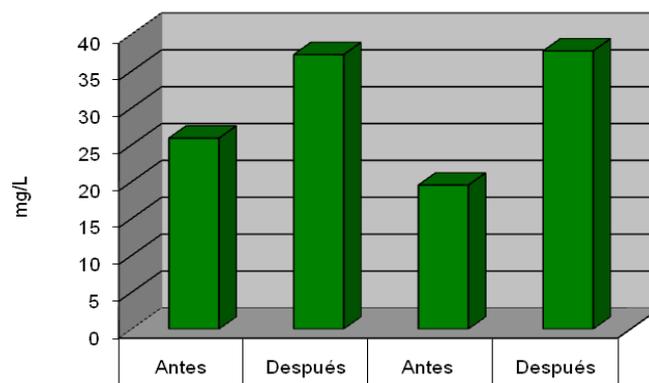


Figura 5: Gráfico comparativo de los valores promedio de Potasio, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

De acuerdo a los parámetros analizados anteriormente, no se puede atribuir la influencia del RS, en la contaminación del agua subterránea, sino que la variabilidad corresponde a las características de la misma en esta región.

El contenido promedio de Nitrógeno total y DBO aumenta en todos los pozos luego del inicio del Relleno Sanitario, tanto aguas arriba como aguas abajo (Figuras 6 y 7). Esto podría deberse por un lado a la gran cantidad de desechos orgánicos (residuos de patio, ramas, hojas, etc.) que llegan al mismo. Estos no se colocan en las celdas de tratamiento sino que son depositados en los terrenos adyacentes, sin impermeabilización. Por otra parte, el nitrógeno y la materia orgánica pueden introducirse en las aguas subterráneas mediante las aguas residuales fecales o efluentes industriales. Otra fuente podrían ser los abonos aplicados en los suelos (considerando que el predio del RS se encuentra rodeado de actividades agrícola ganadera). En el caso de la DBO, es una prueba importante en el control de la calidad del agua, pues permite determinar el grado de contaminación por sustancias orgánicas en cualquier momento. La carga orgánica encontrada aguas arriba, podría relacionarse a la actividad antropogénica proveniente de la ciudad de Rafaela. Por otro lado, las fábricas y servicios industriales tienen altas demandas de agua de enfriamiento, de proceso y con fines de limpieza, por lo que la contaminación de las aguas subterráneas puede ocurrir, cuando el agua usada se devuelve al ciclo hidrológico sin un adecuado tratamiento.

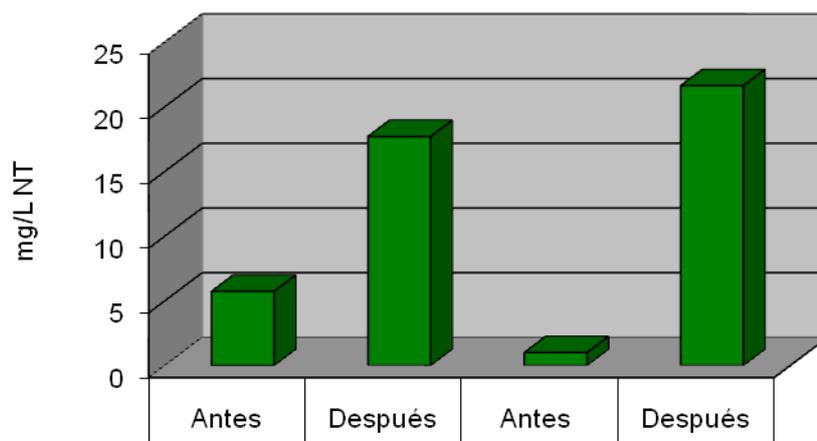


Figura 6: Gráfico comparativo de las concentraciones promedio de nitrógeno total, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

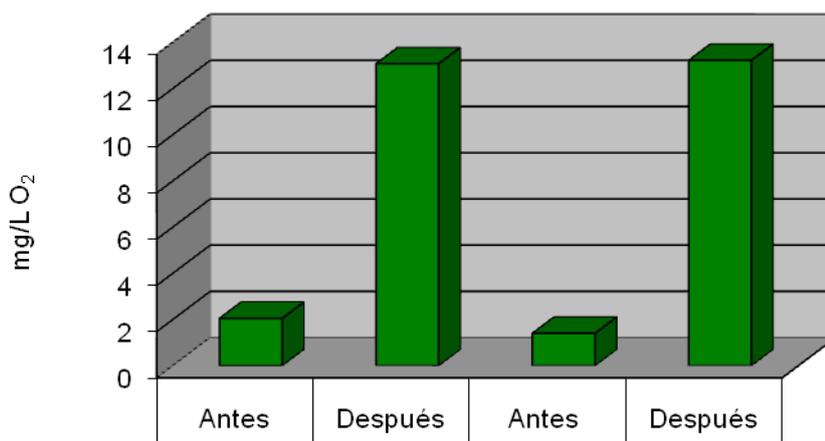


Figura 7: Gráfico comparativo de las concentraciones promedio de demanda biológica de oxígeno, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

Para el caso del fósforo se encontró un aumento importante (Figura 8) luego del comienzo del funcionamiento del RS, llegando a triplicarse aguas abajo. En cambio aguas arriba la concentración promedio no sufrió cambios significativos en el período de estudio. El fósforo como el nitrógeno, generalmente está ligado a la materia orgánica. La transferencia del mismo, del suelo a las fuentes de agua, se da principalmente a través del agua de escorrentía, específicamente como fósforo adherido a partículas de compuestos minerales y como fósforo inorgánico disuelto, siendo la primera, la forma predominante que se da en la mayoría de tierras agrícolas [3]. En este caso se podría deber a la misma causa mencionada anteriormente para el NT y DBO. Se podría justificar a partir de la descomposición de los desechos

orgánicos colocados fuera de la celda para compostaje, donde a lo largo de los años los lixiviados podrían llegar a las aguas subterráneas.

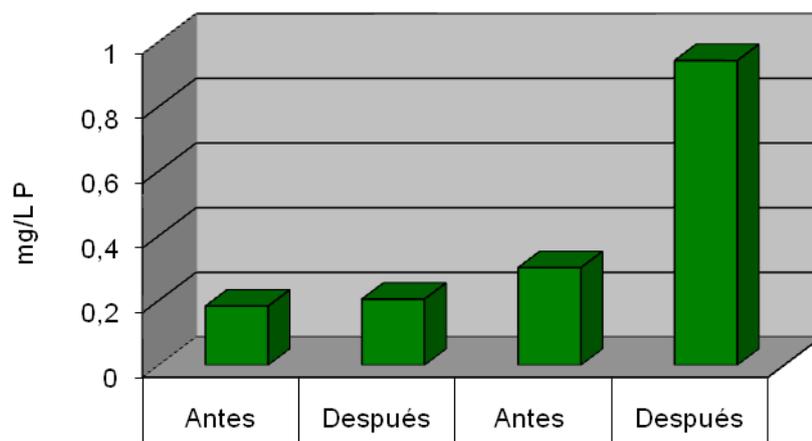


Figura 8: Gráfico comparativo de las concentraciones promedio de fósforo, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

Se encontraron concentraciones variables de manganeso, tanto aguas arriba como aguas abajo, antes y después del comienzo del funcionamiento del relleno sanitario. Para este metal se observa una disminución de la concentración, llegando a valores muy bajos aguas arriba y disminuyendo un 55 % aguas abajo. (Figura 9). El origen de este elemento podría ser tanto natural como antropogénico. El manganeso, al igual que el hierro, es un elemento ampliamente difundido en la naturaleza. Las rocas y minerales que contienen manganeso son fácilmente solubles en aguas neutras o ligeramente ácidas en condiciones oxidantes moderadas, mediante la formación del ion manganeso. Este elemento se puede encontrar en agua en varias formas químicas: como especie disuelta, en forma coloidal o bien formando complejos variados (por ejemplo: complejos Mn- materia orgánica). Por otra parte, el manganeso puede ser liberado al ambiente durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeso. Este no puede ser degradado en el ambiente, solamente puede cambiar de forma, adherirse o separarse de partículas. En el agua tiende a adherirse a partículas o a depositarse en el sedimento. La forma química del manganeso y el tipo de suelo determinan la rapidez con que se moviliza y la cantidad que es retenida en el mismo.

Al analizar los valores obtenidos en el estudio, no se observaron variaciones importantes de arsénico a través del tiempo tanto aguas arriba como aguas abajo (Figura 9), hallándose concentraciones mayores a 0,05 mg/L.

En América Latina la presencia del arsénico en el ambiente y específicamente en las fuentes de agua captadas para consumo humano se debe a factores naturales de origen geológico [4]. El arsénico en las aguas subterráneas proviene de la disolución de minerales y la erosión y desintegración de rocas. Se puede encontrar en sus formas trivalente y pentavalente, según las condiciones del medio. Con mayor frecuencia predominan en el agua subterránea las formas reducidas. En Argentina, la mayor presencia del arsénico en el agua es de origen natural, las aguas subterráneas en las áreas afectadas presentan concentraciones de arsénico variables, que

van de valores menores de 0,10 mg/L hasta valores mayores de 1 mg/L. La fuente de arsénico en las napas freáticas de la región central y norte del territorio argentino es de origen volcánico y en menor importancia la contaminación también puede proceder de la actividad agrícola.

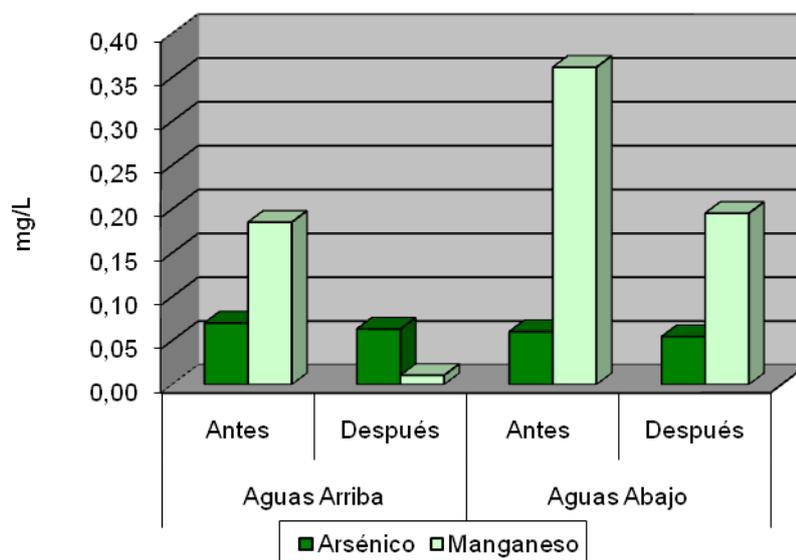


Figura 9: Gráfico comparativo de las concentraciones promedio de arsénico y manganeso, aguas arriba y aguas abajo, antes y después del inicio del relleno sanitario.

En ninguno de los pozos y en ninguno de los muestreos se detectó la presencia de cianuro, cromo, cadmio, cobre, mercurio, níquel y plomo. Mientras que, posterior al inicio del relleno sanitario se detectó zinc en concentraciones cercana a 0,02 mg/L.

## CONCLUSIONES

- La construcción del sistema de tratamiento de residuos a través de un relleno sanitario resolvió parte del problema de la basura, desde el punto de vista económico, paisajístico, social y principalmente ambiental.
- No se puede atribuir la influencia del RS, en las concentraciones de los iones mayoritarios, tales como calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, arsénico, sino que la variabilidad corresponde a las características del agua subterránea en esta región.
- Se encontraron aumentos de parámetros como Demanda Biológica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo, luego del comienzo del uso del RS. En algunos casos este hecho se da tanto aguas arriba como aguas abajo del predio. Si bien podría haber atribución de determinadas actividades realizadas en el predio, no se puede justificar todo el origen de la contaminación a la influencia directa del RS en la calidad del agua subterránea.
- No se observa contaminación de las aguas subterráneas con metales como cromo, cadmio, cobre, mercurio, níquel y plomo como consecuencia de la actividad del relleno sanitario.

**REFERENCIAS**

- [1] APHA. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup> Edition American Public Health Assoc., N.York 1268 pp. (2001).
- [2] Marín Galvín, R. *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ed. Díaz de Santos, S.A. 311 pp. (2003).
- [3] Sharpley, A. N., O. R. Jones, W. A. Berg, and G. A. Coleman. "The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff". *J. Environ. Qual.* 21:30-35. (1992).
- [4] Sancha A. M.; O`Ryan R.; Marchetti.; Ferreccio C. "Análisis de Riesgo en la Regulación Ambiental de Tóxicos: Caso del Arsénico en Chile". *XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Lima – Perú. (1998).
- [5] Benitez, M; Osicka, R.; Gimenez, M.; Garro, O. Arsénico total en aguas subterráneas en el centro oeste de la provincia de Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. (2000).

## ESTUDIO DE LOS SEDIMENTOS EN EL TRAMO RECTIFICADO DEL ARROYO SARANDÍ

Naser, María del Carmen<sup>1</sup>; Speltini, Cristina<sup>2</sup>; Machalec, Jorge<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química  
Facultad Regional Avellaneda  
Universidad Tecnológica Nacional  
San Vicente 206 (1874). Villa Dominico  
mnaser@fra.utn.edu.ar

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Química  
Facultad Regional Avellaneda  
Universidad Tecnológica Nacional  
San Vicente 206 (1874). Villa Dominico  
cspeltini@fra.utn.edu.ar; jmachalec@fra.utn.edu.ar

**Palabras clave:** concentración total, especiación, metales pesados, contaminación antropogénica.

**Resumen:** *Los metales pesados constituyen uno de los contaminantes más importantes en el medio ambiente debido a su elevada persistencia y toxicidad. Las contribuciones antropogénicas de metales traza en el estuario del río de La Plata y sedimentos costeros y marinos son introducidas a través de las aguas de escurrimiento de sus diferentes afluentes. Entre ellos, se encuentra el arroyo Sarandí, de origen pluvial que recibe drenajes pluviales y urbanos del partido de Avellaneda y desechos industriales clandestinos en gran parte de su recorrido. Es importante resaltar que la Agencia de Protección Ambiental EPA considera a los sedimentos como los contaminantes más comunes de ríos y arroyos.*

*El análisis de metales pesados es una actividad importante cuando se quiere valorar el potencial riesgo ambiental. Este estudio se llevó a cabo con muestras de sedimentos del tramo a cielo abierto del Canal Sarandí. La especiación de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg y Zn) se realizó siguiendo las normas EPA correspondientes a cada metal. El objetivo fue determinar las concentraciones de estos metales para determinar en próximos estudio, usando un procedimiento de extracción secuencial, las concentraciones en las fracciones biodisponibles.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Numerosos investigadores coinciden en que más del 90% de la carga metálica de una corriente fluvial se halla en las partículas en suspensión del agua y en los sedimentos.

En la región por la que transita el arroyo se observa una planicie costera. Esta planicie costera se extiende paralela a la costa del Río de La Plata, con un ancho entre 6 y 10 km. Es un ámbito sin relieve cuyas cotas oscilan entre 5 y 0 m. Esta característica limita el flujo superficial de las aguas, dando lugar a zonas cenagosas, con aguas subterráneas aflorantes o de

muy poca profundidad. Esta costa es una unidad de paisaje compleja pues su fisonomía original ha sido intensamente transformada por la urbanización. En esta zona se presenta una interfase denominada “periurbana”, donde se registran simultáneamente manifestaciones urbanas y rurales, tales como quintas costeras con producciones artesanales. En este sector a cielo abierto, el arroyo atraviesa dos escenarios característicos: viñedos costeros y selva en galería, sobre su margen sur mientras que en su margen norte se encuentra asentado el polo petroquímico Dock Sud. Este último es un conglomerado industrial de 380 hectáreas, dónde desarrollan sus actividades alrededor de 40 empresas entre las que se hallan refinerías; plantas de recepción de petróleo y sus derivados; hornos incineradores de residuos peligrosos, y plantas de tratamiento, recepción y almacenaje de diversos productos químicos. Es también en este sector que el arroyo recibe una gran variedad de residuos y desperdicios provenientes de vertidos clandestinos, transformándose en un importante sumidero y reservorio de los más diversos contaminantes.

En cuanto a los sedimentos del Canal Sarandí como todo arroyo urbano pueden crear problemas de contaminación por la presencia de elementos potencialmente tóxicos presentes en los mismos, los cuales pueden ser movilizados hacia la solución del suelo, estar en posición de ser absorbidos por las plantas o ser lixiviados hacia los mantos acuíferos afectando los suministros de agua potable para los seres humanos [1]. Los metales pesados pueden ingresar a las redes tróficas por los mecanismos mencionados y ocasionar en primera instancia bioacumulación y una posterior biomagnificación a través de los niveles tróficos superiores.

Los estudios ecológicos sobre la presencia de los elementos en el medio ambiente, precisan conocer al menos la toxicidad intrínseca de los mismos, el presente estudio se centra en la determinación de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn) en sedimentos del paraje natural.

La concentración total de los metales encontrados se encuentra repartida en distintas fracciones o especies químicas. Por lo tanto la medición del contenido total es un criterio insuficiente para evaluar el verdadero riesgo, debido a que la movilidad de los metales pesados y su biodisponibilidad para las plantas depende de la especie química en la que se encuentren asociados [2]

Los metales pesados debido a sus características no son eliminados del ambiente por procesos naturales y tienen tendencia a acumularse en diferentes sustancias orgánicas y minerales, ocupan un lugar importante dentro de los contaminantes químicos y por lo tanto su determinación tiene carácter prioritario en las muestras ambientales.

La importancia del estudio de las fracciones o especies químicas en las cuales se encuentran los metales pesados en los sedimentos, radica en que se establece su nivel de biodisponibilidad dependiendo de la estabilidad de cada especie química en condiciones ambientales. Cuando un metal se encuentra enlazado débilmente a una especie química, su índice de disponibilidad es alto porque el metal puede ser solubilizado con ligeros cambios en las condiciones ambientales del suelo, como una reducción del pH o del potencial redox [3].

Cuando los metales se encuentran unidos fuertemente a la especie química su estabilidad es muy alta y para que se conviertan a formas solubles se necesitarían condiciones ambientales muy drásticas, que normalmente no ocurren en la naturaleza. Si la mayor concentración de los metales se encuentra en esta fracción, indica una muy baja biodisponibilidad y en consecuencia el peligro de toxicidad se reduce. Esta información sólo es posible obtenerla con

un estudio de especiación [4] que se realizará en el curso del segundo semestre del año.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de sedimentos fueron recolectadas en el tramo a cielo abierto del Canal Sarandí. Se muestreó un vez por mes, durante los meses de marzo y abril y se tomaron 6 muestras en distintos puntos desde dos puentes existentes totalizando 1500g de sedimentos.



Figura1-Ubicación de los puntos de muestreo

Punto muestreado	Latitud	Longitud
1	S 34° 40' 48,14''	O 58° 20' 24,94''
2	S 34° 39' 50,50''	O 58° 19' 20,70''

Tabla 1- Georreferenciación de puntos de muestreo

Las muestras fueron colocadas en recipientes plásticos de 250 g y mantenidas al frío para su traslado al laboratorio. Para la toma de muestras de sedimento se utiliza un Set Muestreador de Sedimentos “Multisampler”, de origen holandés que permite extraer muestras indisturbadas, manteniendo la estratificación original de las diferentes capas que lo componen. Posee un tubo de muestreo de acrílico transparente, pistón de goma NBR y acero inoxidable que permite un chequeo visual inmediato de la muestra. Es operado a varilla y permite realizar muestreos de hasta 5 m de profundidad.



Figura2. Toma de muestras de sedimentos

Las muestras fueron secadas a 60°C durante tres días en estufa y tamizadas en Tamiz de ensayo para laboratorio con malla certificada según normas ISO 3310-1 N°70 de 210 $\mu$  y analizadas en Espectrofotómetro de Absorción Atómica Analyst 300, calibrado según normas según los métodos propuestos de digestión ácida por la norma EPA 3050 A para metales pesados (EPA 206,4; 7130; 7950; 7210; 7196; 7471mod; 7420 y 418,1)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sedimentos muestreados presentan una contextura arcillosa y su color va del marrón oscuro al negro.

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio obtenidos de las concentraciones totales de Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn y en el cuadro II se comparan con los límites permisibles establecidos por la legislación argentina, (ley 11720, Anexo 1) la correspondiente estadounidense USEPA (United States Environmental Protection Agency, 1997) [5].

Determinación	Resultado(mg/Kg) (seco)	Método
pH	8.80	EPA 9045 C
Sulfuros totales	409.46	EPA 9030 A
Arsénico	< 0.5	EPA 206.4
Cadmio	23.6	EPA 7130
Cinc	475.16	EPA 7950
Cobre	56.4	EPA 7210
Cromo total	<2	EPA 7196
Mercurio	9.76	EPA 7471 mod
Plomo	<2	EPA 7420
Hidrocarburos totales	2875	EPA 418.1

Tabla2. Valores encontrados

	ppm	mg/kg(seco)
Arsénico	0-23	0-23
Cinc	2.800	2.800
Cobre	1.500	1.500
Cromo	3.00	3.00
Mercurio	1,00	1,00
Plomo	300	300
Níquel	420	420
Cadmio	0,6-10	0,6-10

Tabla3- USEPA 503(Año 1997)  
Máximos valores permitidos en lodos de suelos enmendados

#### 4. CONCLUSIONES

Las concentraciones totales de Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn encontradas en las muestras de sedimento estudiadas, rebasan los límites establecidos por la norma de los Estados Unidos mencionada en la USEPA.

Para evaluar los riesgos para la salud ecológica y humana que representa los sedimentos contaminados en un sitio, no es suficiente medir los tipos y cantidades de contaminantes presentes. Se plantea la necesidad de practicar a las muestras de sedimentos la extracción secuencial de Tessier, para estudiar la diferente distribución de los elementos dentro de los componentes del suelo. De acuerdo al estudio de especiación química proyectada, se podrá

indicar si los elementos estudiados presentan niveles de biodisponibilidad que signifiquen un riesgo para la biota del sector a cielo abierto del Arroyo Sarandí.

En estudios anteriores se llevaron a cabo estudios de campo para evaluar la salud de las comunidades bentónicas y están en estudio los niveles de contaminantes que se encuentran en las distintas especies de peces. Se realizarán pruebas químicas para evaluar los factores que afectan la biodisponibilidad.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Álvarez E.A., Mochon M.C., Sanchez J.C.J. y Rodríguez M.T. “Heavy metals extractable form in sludge from wastewater treatment plants”. *Chemosphere* 47, 765–775, (2002).
- [2] Scancar J., Milacic R., Strazar M. y Burica O. “Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge.” *Sci. Total Environ.* 250, 9–19, (2000).
- [3] Alloway B.J. “Soil processes and the behavior of metals” *Heavy metals in soils* (B.J. Alloway, Ed.). John Wiley & Sons, Nueva York, pp. 7–18, (1990).
- [4] Pérez-Cid B., Lavilla I. y Bendicho C. “Application of microwave extraction for partitioning of heavy metals in sewage sludge.” *Anal. Chim. Acta.* 378, 201–210, (1999).
- [5] USEPA. “Standard for the use and disposal of sewage sludge” 40 CFR Parts 403 and 503. United States Environmental Protection Agency, (1995).

## EL ARROYO SARANDÍ: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

**Speltini, Cristina; Naser, María del Carmen; Coppo, Gabriela; Machalec, Jorge; Sanchez, Carlos; Alonso, Atilia**

Departamento de Ingeniería Química -Facultad Regional Avellaneda

Universidad Tecnológica Nacional

*cspeltini@fra.utn.edu.ar;mnaser@fra.utn.edu.ar;jmachalec@fra.utn.edu.ar*

**Palabras claves:** estado ambiental, contaminantes, biodiversidad, producciones artesanales.

**Resumen:** *La cuenca del arroyo Sarandí, de origen pluvial, se extiende desde la localidad de Longchamps hasta el Río de La Plata en la Provincia de Buenos Aires. El 80 % de su recorrido está entubado y desde su cruce con las vías del Ferrocarril General Roca, en la localidad de Sarandí, hasta su desembocadura, se encuentra rectificadado y a cielo abierto. Los objetivos del presente trabajo son: diagnosticar el estado ambiental de las aguas del arroyo, en el tramo a cielo abierto e identificar y analizar la evolución de la biodiversidad en un ambiente altamente comprometido desde el punto de vista ambiental. Se realizaron diez campañas mensuales de monitoreo de la calidad de las aguas del arroyo en tres sectores de su cauce a cielo abierto, identificando los contaminantes crítico. El monitoreo se complementó con estudios del perfil del cauce del, mediante corridas de flotadores. Se analizó el agua de napa y la identificación macroscópica de especies, recuento de poblaciones, recolección de plancton y benton. Los análisis muestran la crítica situación ambiental de las aguas del arroyo así como las variaciones temporales y espaciales de sus contaminantes. Las aguas subterráneas revelan la presencia de metales pesados.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El río de la Plata, en su franja costera sur, recibe el aporte del Riachuelo, además de otros cursos menores entre los que se encuentran los arroyos Sarandí y Santo Domingo. La cuenca del arroyo Sarandí atraviesa varios partidos del conurbano de la Provincia de Buenos Aires desde su nacimiento en las proximidades de la localidad de Longchamps, provincia de Buenos Aires hasta el Río de La Plata. Luego de recibir como afluente al Arroyo Galíndez, totalmente entubado en la actualidad, a la altura de Lanús el curso de agua se convierte en el Arroyo Sarandí. La longitud del cauce es de aproximadamente 20 km, comprendiendo la totalidad de su cuenca una superficie de 80 km<sup>2</sup>, que comprende los partidos de Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora y Almirante Brown, densamente poblados.

El 80 % del recorrido se encuentra entubado, y a partir de su cruce con las vías del Ferrocarril General Roca, en la localidad de Sarandí, el arroyo se encuentra rectificadado y es conocido con el nombre de Canal Sarandí. En varios sectores de su recorrido recibe vertidos de diversas industrias, así como descargas pluviales y efluentes cloacales.

En el sector a cielo abierto, el arroyo atraviesa dos escenarios característicos: viñedos costeros y selva en galería, sobre la margen norte del arroyo Sarandí se encuentra asentado el polo

petroquímico Dock Sud caracterizado por la alta tasa de emisión de sustancias contaminantes. Es también en este sector que el arroyo recibe una gran variedad de residuos y desperdicios provenientes de vertidos clandestinos, transformándose en un importante sumidero y reservorio de los más diversos contaminantes.

La zona de quintas del arroyo Sarandí se vincula, desde el asentamiento de los primeros colonos genoveses, con la producción del “vino de la costa” como producto distintivo. El proceso integral de elaboración de esta variedad de vino abarca el desarrollo del cultivo y el procesamiento de la uva para su transformación en vino, ambas etapas son realizadas en las quintas. La variedad de uva utilizada es la “Isabella americana” y su procesamiento sigue la tradición artesanal de los primitivos quinteros.

Con el propósito de proveer elementos que contribuyan a la concientización de la problemática ambiental de la cuenca y a la construcción de una base de datos actualizada, en el presente trabajo se pretende:

- diagnosticar el estado ambiental de las aguas del arroyo, en el tramo a cielo abierto
- identificar y analizar la evolución de la biodiversidad en un ambiente altamente comprometido desde el punto de vista ambiental

indagar la incidencia de la calidad de las aguas del recurso hídrico en los viñedos costeros.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron campañas mensuales para el monitoreo de la calidad del agua del Arroyo Sarandí en tres sectores de su cauce a cielo abierto, cuyas coordenadas se indican en la Tabla 1 y la ubicación se muestra en la Figura 1.

Punto muestreado	Latitud	Longitud
1	S 34° 40' 48,14''	O 58° 20' 24,94''
2	S 34° 40' 27,89''	O 58° 20' 0,80''
3	S 34° 39' 50,50''	O 58° 19' 20,70''

Tabla 1: Coordenadas de los puntos monitoreados

Se complementó el estudio con muestras de agua subterránea provenientes de dos pozos ubicados en la zona de quintas. En ambos tipos de muestras (superficial y de pozo) se identificaron los contaminantes críticos mediante ensayos de laboratorio. En cada uno de los puntos monitoreados se analizaron los siguientes parámetros de acuerdo a los métodos de análisis indicados en la Tabla 2:



Figura 1 Foto satelital con la ubicación de los lugares de toma de muestras

Determinación	Método
pH	EPA 150.1
Conductividad	Standard Methods 4500-P.C
Sulfuros totales	EPA 376.2
Sólidos sedimentables 10 min	EPA 1560.5
Sólidos sedimentables 2 h	EPA 1560.5
DBO <sub>5</sub>	Manométrico Stand. Merck
DQO	Standard Methods 5220 D
Cianuros	EPA 335.2
Fenoles	EPA 420.1
Hidrocarburos totales	EPA 418.1
Nitrógeno amoniacal	EPA 350.2
Arsénico total	Standard Methods 3500 As B
Cadmio	EPA 213.1
Cromo total	Standard Methods 3500 Cr B
Cinc	EPA 289.1
Cobre	EPA 220.1
Plomo	EPA 239.1
Bacteria coliformes totales	Filtros de membrana SM 9222 B

Tabla 2: Métodos de análisis

El monitoreo se complementó con la determinación del perfil del cauce del arroyo y de la variación de su caudal, a través de corridas de flotadores y con el análisis de las producciones vitivinícolas de la zona de quintas.

Las determinaciones analíticas sobre las muestras de agua fueron efectuadas en el laboratorio de Ensayos Especiales de la UTN-FRA mientras que las determinaciones sobre las muestras de vino se realizaron en el laboratorio del Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV).

Se tomaron muestras aplicando la técnica de obtención de plancton utilizando técnicas homologadas para concentrar las poblaciones, el plancton es el conjunto de organismos que flotan a merced de los movimientos del agua, independientes de la ribera y del fondo. Este conjunto de seres vivos es muy heterogéneo, ya que reúne organismos animales y vegetales, pero a la vez es homogéneo con respecto a su incapacidad de moverse o de poder hacerlo únicamente en pequeña medida; además, al encontrar a su disposición los elementos nutritivos que le son indispensables, permanecen agrupados. Existe pues, una interdependencia vital entre todos estos organismos y el medio que los rodea.

Se tomaron muestras de 10 L de agua y se concentraron, la acción se repitió dos veces. El punto de muestreo seleccionado para realizar esta técnica es el número tres ubicado aproximadamente a 800 m del Río de la Plata.

### 3. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DEL ARROYO

En cada campaña se realizaron corridas de flotadores con el objetivo de determinar la velocidad de la corriente y calcular el caudal en los diferentes sitios de muestreos seleccionados. Es importante destacar que las condiciones de escurrimiento del arroyo en las distintas campañas fueron muy diversas. Se encontraron variaciones de velocidad importantes, resultado de las condiciones climáticas, estación del año, incidencias de las mareas del Río de la Plata y principalmente vertidos de materiales diversos (botellas, ramas, neumáticos, residuos domiciliarios, etc.). Estos obstáculos sirven de anclaje a los sedimentos aportados por las aguas del arroyo, formando afloraciones fácilmente identificables a simple vista.

El ancho del arroyo en su trayecto a cielo abierto varía desde 25 m, en el primer punto de muestreo, hasta alcanzar los 36 m en el tercer punto de muestreo. El perfil del cauce del arroyo fue relevado en dos de los puntos muestreados como se indica en las siguientes figuras.

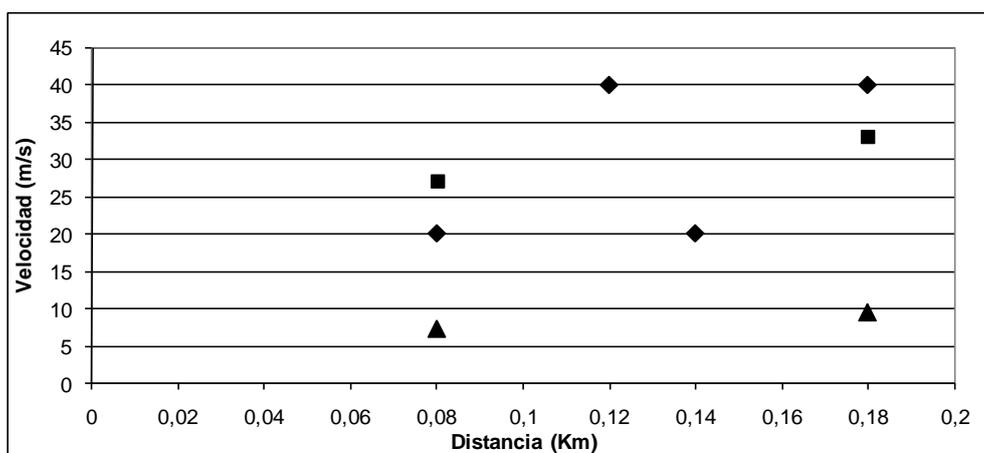


Figura 2 Velocidad del arroyo a distancias variables del primer punto de muestreo

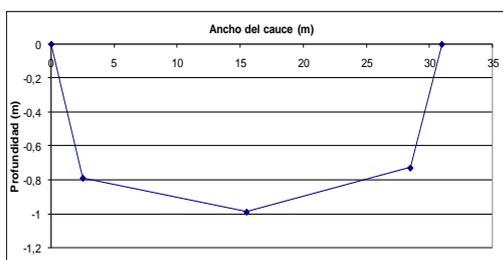


Figura 3 Perfil del cauce en Punto 2

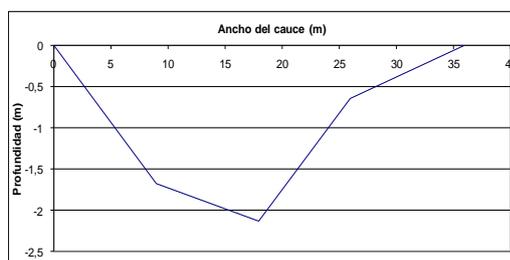


Figura 4 Perfil del cauce en Punto 3

## 4. RESULTADOS

Se presentan en forma diferenciada los análisis vinculados con la calidad del agua del arroyo en el sector a cielo abierto, la biodiversidad y la calidad de las aguas de pozo del sector de quintas.

### 4.1. Escenario a cielo abierto

Los valores obtenidos se contrastaron con la escasa información oficial disponible, y muestran la crítica situación ambiental así como las variaciones temporales y espaciales de la calidad del agua del arroyo.

En la Figura 4 se muestra la variación de los parámetros: Conductividad, DBO<sub>5</sub> y DQO, en las campañas, para el punto de muestreo identificado con el número 1, mientras que la Figura 5 indica la variación de los mismos parámetros en el sitio dónde el arroyo cruza la autopista Ricardo Balbín (Buenos Aires – La Plata), que se ha denominado punto de muestreo 2.

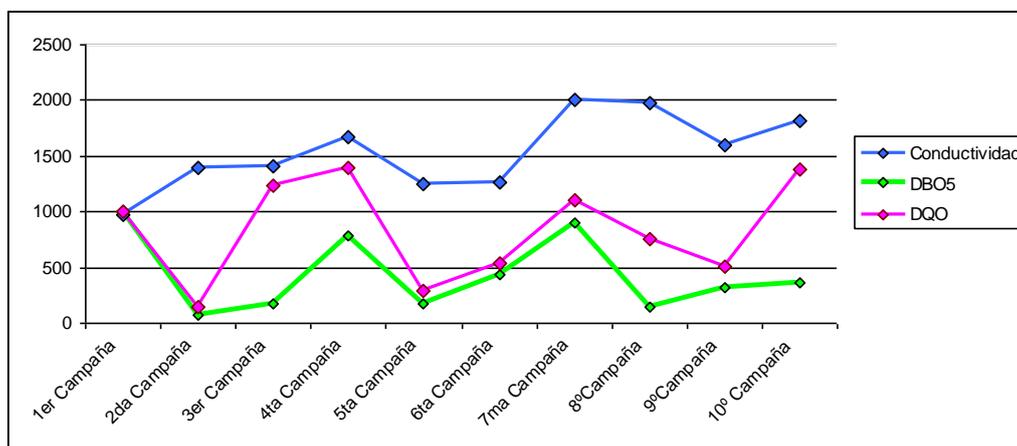


Figura 5 Parámetros Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ), DQO ( $\text{mg/l}$ ) y DBO<sub>5</sub> ( $\text{mg/l}$ ) en el punto de muestreo 1

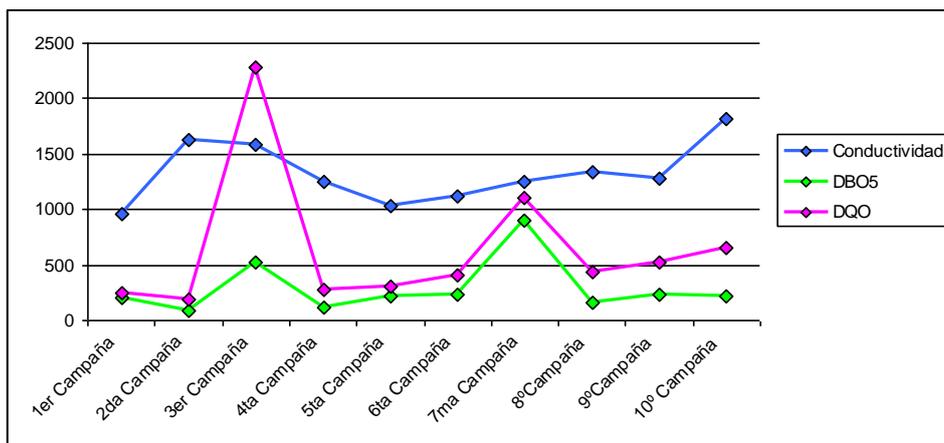


Figura 6 Parámetros Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ), DQO (mg/l) y DBO<sub>5</sub> (mg/l) en el punto de muestreo 2

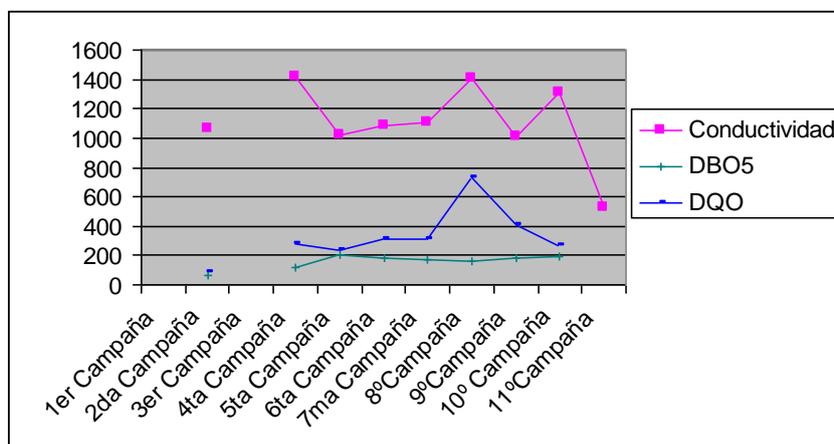


Figura 7 Parámetros Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ), DQO (mg/l) y DBO<sub>5</sub> (mg/l) en el punto de muestreo 3

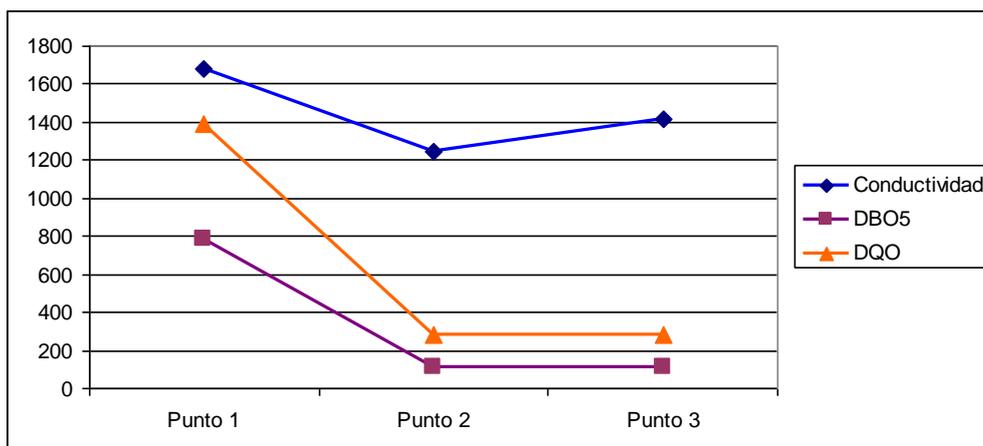


Figura 8 Variación espacial de Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ), DQO (mg/l) y DBO<sub>5</sub> (mg/L)

Las Figuras 5 y 6 muestra la variación de los parámetros: Conductividad, DBO<sub>5</sub> y DQO, para los puntos de muestreo identificados con los números 1 y 2 respectivamente. La Figura 7 indica la variación de los mismos parámetros en el sitio donde el arroyo cruza un puente colgante ubicado en el área que comprende el polo petroquímico y la zona de los viñedos costeros (Punto de muestreo N°3).

Un análisis en los distintos puntos de muestreo del cauce del arroyo, en su tramo a cielo abierto, para fines del invierno permite identificar como se modifican los parámetros de Conductividad, DQO y DBO<sub>5</sub> a medida que las aguas se acercan a la desembocadura del arroyo, como lo muestra la Figura 8.

En relación a los metales pesados no se ha detectado la presencia de Pb ni Cu en ninguna de las muestras, se encontró Cr total sólo en las muestras obtenidas en dos campañas, correspondiendo el valor más elevado (0,83 mg/L) a la muestra del punto 1, donde el arroyo circula sin entubar.

La variación de sulfuros en todo el recorrido del arroyo a cielo abierto se muestra en la Figura 9, en la que se presentan las medidas, en mg/L, para dos muestreos realizados en diferentes meses.

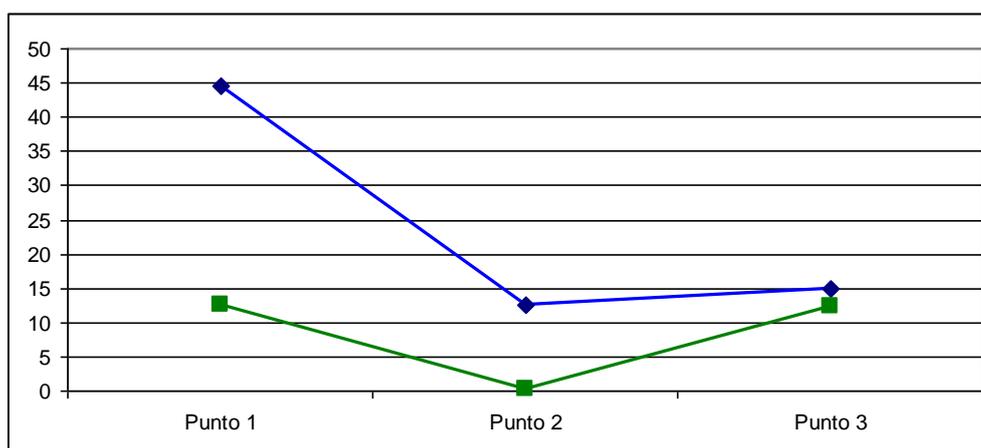


Figura 9 Registro de la medición de sulfuros según lugar de muestreo

Los sulfuros se producen por la acción de bacterias sulfato-reductoras en condiciones de ausencia de oxígeno y su presencia indica fuerte contaminación. Este compuesto contribuye significativamente a la presencia de mal olor de las aguas contaminadas y es tóxico para organismos superiores.

La determinación de fenoles, en los distintos muestreos alcanza un valor máximo de 0,28mg/l. Los estudios microbiológicos indican la presencia de bacterias coliformes totales, en concentraciones que oscilan entre  $1,90 \times 10^6$  UFC/100ml y  $1,10 \times 10^6$  UFC/100ml.

## 4.2 Biodiversidad

Se realizó un relevamiento ocular y fotográfico del Canal Sarandí de las especies vegetales, identificándose: algodonillo (*Aeschynomene montevidensis*), azucenita del campo (*Zephyranthes candida*), espinillo manso (*Mimosa pilulifera*), sarandí blanco (*Phyllanthus sellowianus*), campanilla (*Ipomoea cairica*), ceibo (*Erythrina crista-galli*), madreSelva

(*Lonicera japonica*), sauce criollo (*Salix humboldtiana*), saeta (*Sagittaria montevidensis*), pajonales de junco, (*Schoenoplectus californicus*), pajonales de cortadera (*Cortaderia selloana*), pasionaria o mburucuyá (*Passiflora coerulea*), ricino (*Ricinus communis*). Dentro de los animales: benteveo común (*Pitangus sulphuratus*), chingolo (*Zonotrichia capensis*), cotorra (*Myiopsitta monacha*), gorrión (*Passer domesticus*), torcacita (*Columbina picu*), torcaza (*Zenaida auriculata*).

En una fracción de las muestras de bentos observado, se encontraron varios protozoos en abundancia. Algunos son flagelados, no identificables. También hay nematodos de vida libre, identificados fehacientemente:

- Acineria sp.
- Paramecium sp.
- Metopus sp. Es un ciliado grande, típico de los ambientes anóxicos y ricos en sulfuro de hidrógeno. Cuando se mueve el frasco, salen burbujas del sedimento, típico de la formación de metano o de sulfuro de hidrógeno. Metopus sp., se alimenta de sulfobacterias incoloras, otros grupos de bacterias y flagelados. Es característico de lodos en putrefacción que contienen sulfuro de hidrógeno y están ennegrecidos por sulfuro ferroso y pobres en oxígeno, al poner las muestras en el portaobjetos (sin cubre), al aumentar la concentración de OD mueren casi instantáneamente. En el agua filtrada, en todas las muestras se encontraron numerosos espirilos, bacilos y flagelados que no pudieron ser identificados.
- Vorticella microstoma, vive en ambientes que corresponden a un polisaprobios, y aparentemente necesita más oxígeno que Metopus, pero es bastante adaptable.
- Vorticella striata: Su presencia no cierra demasiado ya que es buena indicadora de contaminación orgánica pero aparentemente necesita mayor concentración de oxígeno disuelto que los demás. La presencia de esta última especie podría deberse a la baja temperatura, ya que la solubilidad del oxígeno aumenta a menores temperaturas, es importante destacar que el muestreo corresponde al período invernal.

### 4.3 Escenario viñedos

Se realizó el muestreo de agua subterránea en dos pozos diferentes de la zona de quintas, el primero a una profundidad de 8,5 m y el segundo a 15 m de profundidad, ambos puntos de muestreo se encuentran a una distancia aproximada de 200 m de la costa del Río de la Plata. Las muestras fueron analizadas en relación a la concentración de DBO<sub>5</sub>, DQO y metales pesados: Arsénico total, Cadmio, Plomo, Cromo total, Cromo VI, Cromo III y Mercurio total, según se muestra en la Tabla N°3.

Los valores obtenidos dan cuenta de concentraciones de Arsénico total por encima de los valores máximos para la calificación de agua potable según Código Alimentario Argentino. Las concentraciones de Plomo se encuentran muy cercanas, en ambos casos, al límite para la misma definición. Los valores de concentración de Hg no nos permiten asegurar que se encuentran debajo de la norma. Mientras que las concentraciones de los restantes elementos están por debajo de los límites para la definición de agua potable. Se utilizó una muestra de vino de la costa de la cosecha 2010 para realizar las determinaciones analíticas de Pb, Cd, As y Zn. Las muestras presentan concentraciones de Cobre, Plomo y Cadmio inferiores a los límites máximos permitidos por el INV. Se verificó la ausencia de Arsénico y la

concentración de Cinc resulta ser menor que el máximo permitido por el Código Alimentario Argentino para agua potable [1].

Determinación	Pozo 1 Profundidad: 8,5m	Pozo 2 Profundidad: 15m	Concentraciones para agua potable [1]
	en mg/l		
DBO <sub>5</sub>	7,0	17	Estos parámetros no se legislan para agua de consumo
DOO	70	120	
Arsénico	0,022	0,011	<0,01
Cadmio	<0,003	<0,003	<0,005
Plomo	0,046	0,045	<0,05
Cromo total	<0,02	<0,02	<0,05
Cromo VI	<0,02	<0,02	
Cromo III	<0,02	<0,02	
Mercurio total	<0,002	<0,002	<0,001

Tabla 3: Comparativo de los puntos de muestreo con los requisitos de CAA [1] para agua potable

Parámetro	Límite	Resultado
Cobre	1mg/l	0,72 mg/l
Plomo	0,20 mg/l	0,08 mg/l
Cadmio	0,01 mg/l	< 0,01 mg/l
Arsénico *	0,01 mg/l	< 0,01 mg/l
Cinc*	5 mg/l	3,38 mg/l

Tabla 4: Concentración de metales pesados en vino

\*Concentración máxima permitida para agua potable, Código Alimentario Argentino. Art. 982 [1]

## 5. CONCLUSIONES

Las fuentes de aguas residuales que contribuyen a la contaminación del arroyo Sarandí son diversas, encontrándose: vertidos domésticos; aguas residuales industriales; escorrentías agrícolas y pluviales. Se destaca que, si bien es interesante analizar la calidad de las aguas en la desembocadura del arroyo, este sector ha sido, hasta el momento, inaccesible al tránsito por tierra.

Los resultados de esta indagación han permitido determinar algunas de las características ambientales del arroyo Sarandí, en el tramo estudiado, entre ellos:

- a- Los valores de **pH** muestran una distribución homogénea, a lo largo del curso a cielo abierto, en las campañas realizadas. Este parámetro oscila en el rango de 6,4 a 7,8, encontrándose dentro de lo requerido en Res 42/06 de ADA.

- b- La **conductividad** permite estimar la concentración de sales disueltas en el agua; es decir en aguas más contaminadas, es mayor la concentración de sales disueltas, aumentando la conductividad. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran valores de conductividad altos, comparados con cursos de agua sin contaminar.
- c- La **DBO** es una medida de la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica presente. En el presente trabajo es un indicador importante de la contaminación con aguas residuales de origen doméstico e industrial. Los niveles medidos de DBO superan los recomendados para el uso del agua para uso recreativo establecidos por Res. 42/2006 ( $DBO < 10 \text{ mg/l}$ ) [2].
- d- El incremento de la diferencia entre DQO y  $DBO_5$ , en la tercera campaña respecto de las restantes, pone en evidencia un mayor aporte de contaminantes inorgánicos en el curso del arroyo en los puntos 1 y 2 (Fig. 4 y Fig. 5).
- e- Los valores obtenidos de concentración de **sulfuros** atentan sobre la conservación de la vida acuática y brindan un olor desagradable. El máximo valor encontrado ha sido de  $44 \text{ mg/l}$ , en el punto de muestreo donde el arroyo deja de estar entubado, superando ampliamente los valores establecidos por la Res 42/2006 [2], tanto para uso recreativo como para agua potable.
- f- La concentración de **fenoles** encontrada en todas las muestras analizadas superan ampliamente el valor de  $0,001 \text{ mg/l}$ , que es el nivel guía recomendados por Decreto 831, tabla 2, Protección de la vida acuática. La presencia de estos compuestos confieren sabor y olor desagradable a las aguas del arroyo.
- g- Los valores de  $DBO_5$  encontrados en agua subterránea (Tabla 3) son similares a los valores identificados en el punto 3 de muestreo de agua superficial. Existe discrepancias con los valores de **Cr**, que en agua superficial ( $0,09 \text{ mg/l}$ ) superan a los obtenidos en agua subterránea. En agua superficial no se identificaron concentraciones de **Pb**, en tanto que en pozo la concentración es de  $0,045 \text{ mg/l}$ .
- h- Todos los microorganismos encontrados en estos muestreos son propios de ecosistemas que corresponden a un grado sapróbico (contaminación orgánica) que podría variar entre metasapróbico o isosapróbico.  
Lo importante para la determinación del grado sapróbico que están indicando es la medición de la  $DBO_5$ . Los ciliados constituyen uno de los grupos más utilizados para el diagnóstico de la calidad de agua en ambientes acuáticos, principalmente de los lóticos (hábitat acuático de aguas corrientes como riachuelos desprovistos de vegetación acuática emergente) [3]. Estos organismos muestran sensibilidad y/o adaptabilidad a ciertos cambios del ambiente vinculados a la introducción de materia orgánica.
- i- Los protozoarios indicadores de contaminación también han estado presentes como aquellas especies que se desarrollan a concentraciones bajas de oxígeno tales como *Metopus es*, *Paramecium caudatum* y *Vorticella microstoma* [4]; todos en grandes cantidades, las que se alimentan de bacterias como la *Vorticella*. Es típico de los ambientes extremos la presencia de poca diversidad con poblaciones elevadas, ya que son, en general, bastante sensibles y selectivos. El principal bioindicador acá sería *Metopus es*. Se ha analizado la fauna de ciliados presente en sedimentos y cuerpos de agua filtrada durante el período julio-agosto 2010. Durante la investigación y de acuerdo a las especies registradas categorizadas en el sistema del saprobios, el arroyo

mostró condiciones entre mesosapróbicas y sapróbicas (elevada concentración de materia orgánica, gran número de bacterias presentes y posible déficit de oxígeno) que indican un grado de vulnerabilidad importante frente a posibles ingresos de materia orgánica al sistema [5]. La mayoría de las especies presentes son bacteriófagas provocando su predominio frente a los que presentan otro tipo de alimentación. El arroyo presentó en la mayoría de las ocasiones un grado de deterioro mayor ya que se hallaron varias especies indicadoras de condiciones polisapróbicas.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Código Alimentario Argentino. Art. 982
- [2] Resolución 42/2006. Calidad de aguas dulces y marinas para la protección de la biota acuática, para agua de uso recreativo en la zona de uso exclusivo del Río de la Plata y su frente marítimo y aguas dulces como fuente de agua potable.
- [3] Mariano Zaleski; María C. Claps y Hernán Benitez, “Utilización de los ciliados como indicadores de la calidad de agua de una laguna pampásica”. Primeras Jornadas sobre Ecología y Manejo de ecosistemas acuáticos pampeanos. Junín (2000)
- [4] Mariano Zaleski y María C. Claps, “First record of some epiphytic ciliates for Argentina”. *Natura Neotropicalis*. 30 (1-2) p-77-84 (1999)
- [5] Mariano Zaleski y María C. Claps, “Ciliados indicadores de la calidad de agua de la laguna San Miguel del Monte. Buenos Aires”. *Diversidad y ambiente* 1: 45-51 (2000).



## CIUDADES COSTERAS DE INTERÉS TURÍSTICO Y SU VINCULACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO. CASO PEHUEN-CÓ

Sartor, Aloma S.; González, Mariana V.

Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de Abril 461 - B8000LMI - Bahía Blanca  
e-mail: asartor@frbb.utn.edu.ar, mgonzal@frbb.utn.edu.ar  
web: www.frbb.utn.edu.ar

**Palabras clave:** gestión, planificación, recurso hídrico, ciudades costeras, turismo, Pehuen-có

**Resumen.** *Los recursos hídricos constituyen un factor limitante para el desarrollo urbano, su gestión en los asentamientos turísticos costeros presenta características específicas, como son una carga antrópica fuertemente concentrada con picos de demanda estacional de los servicios de agua y saneamiento.*

*En este trabajo se plantea la problemática relacionada con el desarrollo urbano de la villa balnearia Pehuen-có y su vinculación con la gestión del recurso hídrico. Esta villa balnearia, de reciente conformación, muestra una actividad turística en franco crecimiento.*

*La modalidad de gestión del recurso hídrico se encuentra en la transición entre la utilización de un sistema individual estático (tanto para el abastecimiento como para la disposición de los efluentes domiciliarios) y la implementación de un sistema centralizado de abastecimiento de agua potable. Mediante la actual condición de explotación individual se pone en riesgo tanto la calidad como la cantidad del recurso hídrico subterráneo, lo cual plantea límites a la densidad y desarrollo urbano de la localidad. Por otra parte la incorporación del sistema centralizado de abastecimiento genera la necesidad de planificarse desde una perspectiva de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), ya que la implementación del sistema no asegura la sustentabilidad del propio recurso.*

*Dada esta situación, se propone en el presente trabajo analizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que este proyecto presenta, a fin de plantear estrategias en relación a construir la gobernabilidad del agua desde una perspectiva GIRH.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se plantea la problemática relacionada con el desarrollo urbano de la villa balnearia Pehuen-có, y su vinculación con la gestión del recurso hídrico. Esta villa balnearia, fue creada a fines del año 1948, con una actividad turística en franco crecimiento que implica un incremento constante de población estable y turística; situación que pone en evidencia su desajuste con la infraestructura sanitaria, manifestándose problemas, tanto para el abastecimiento, como para la disposición de efluentes líquidos. [1]

En la actualidad la villa se encuentra en la transición entre la utilización de un sistema individual estático (tanto para el abastecimiento como para la disposición de los efluentes domiciliarios) y el desarrollo de un proyecto de implementación de sistema centralizado de abastecimiento de agua potable.

## **2. OBJETIVOS**

Mediante el desarrollo del presente trabajo se pretende identificar los problemas actuales y potenciales inherentes a la gestión del recurso hídrico, relacionando la actual modalidad de su aprovechamiento (mediante perforaciones individuales) y la futura (mediante la ejecución de una red de abastecimiento de agua potable); así como las actividades económicas, los aspectos culturales y las condiciones ambientales y sociales del lugar en relación a sus efectos sobre los recursos hídricos. Se propone con este trabajo identificar estrategias que permitan construir la gobernabilidad del agua desde una perspectiva de gestión integrada de recursos hídricos.

## **3. METODOLOGÍA**

Se establecieron lineamientos teóricos basados en la perspectiva de la gobernanza del agua y la GIRH a fin de plantear un marco de estudio para realizar el diagnóstico del problema, realizando además un relevamiento de fuentes bibliográficas de trabajos sobre el área.

En la fase de diagnóstico se identificaron las actividades económicas y los aspectos culturales y sociales del lugar a partir de entrevistas con algunos actores involucrados: personal del Departamento Catastro de la Municipalidad, Director del Museo de Ciencias “Carlos Darwin”, residentes temporarios; encuestas a residentes y turistas; consultas a personal técnico involucrado en la ejecución de la obra de abastecimiento de agua potable.

A fin de realizar una síntesis operativa del diagnóstico se aplicó el análisis FODA identificando a partir de la matriz algunas estrategias que permitan optimizar el aprovechamiento de las oportunidades que el proyecto de la obra de abastecimiento de agua potable representa, disminuyendo sus amenazas.

## **4. DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE**

### **4.1. Ambiente natural**

Pehuen-có está situado a 68 Km. de Punta Alta, ciudad cabecera del Partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales ubicado en el sudoeste bonaerense. El acceso al balneario se realiza por la ruta provincial N°113/2 a través de la ruta nacional N°3. Esta localidad se sitúa en la cuenca baja del río Sauce Grande, en la porción sur del sistema serrano de Ventania (Provincia de Buenos Aires). [3] [4]

La playa en el balneario Pehuen-có tiene un ancho aproximado de 100 m. El frente costero de 2,5 Km aproximadamente es materializado por el primer cordón de médanos costeros. Este cordón de dunas frontales de baja altura, en ocasiones cubre los fragmentos de conchillas, los bloques de areniscas sueltos y las gravas de cuarcitas depositados por el mar durante las tormentas. [5]

La temperatura media anual es de 14,9°C, la humedad relativa media anual es de 78,2%. El promedio anual de precipitación es 656,8 mm., los meses más lluviosos son marzo - abril y los menos lluviosos son agosto - junio. Los vientos provienen predominantemente del continente, presentan una tendencia a soplar del noroeste durante el invierno y del

noreste en verano. Son frecuentes los períodos de tormenta con vientos del sureste y suroeste, los cuales ejercen una alta influencia erosiva sobre la playa. [5]

La vegetación existente en la villa, es introducida, pinos, eucaliptus y tamariscos fueron plantados para la ornamentación del balneario y la fijación de los médanos respectivamente. Sobre ambos lados de la zona urbanizada, en las formaciones arenosas, se encuentra como especie característica del lugar el olivillo de coloración plateada; y en una estrecha franja paralela al mar el *Neosparton Darwinii*. [5]

#### **4.2. Ambiente antrópico**

La población estable del Balneario Pehuen-có es de 674 habitantes de acuerdo a las estadísticas del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2.001, esto representa una tasa de crecimiento del 284,5% respecto de los datos del año 1.991 lo cual permite estimar en la actualidad una cantidad de habitantes igual a 1.916, cuyo valor deberá confrontarse una vez publicados los datos 2.010 del mismo Censo.[6] [7] [8]

Dada la cercanía del balneario a otros centros urbanos de importancia, como las ciudades de Bahía Blanca y Punta Alta, se observa la afluencia estival de turistas que ingresan a la villa con la finalidad de establecerse durante el día. Para dar cuenta de la magnitud de la afluencia turística, vale mencionar a modo de ejemplo que en el primer fin de semana del mes de enero de 2.011 ingresaron al balneario alrededor de 55.000 personas con la intención de establecerse sólo durante el día. [9]

Respecto de la conformación urbana, la villa tiene 162 manzanas irregulares delimitadas por calles de tierra, siguiendo las ondulaciones de las cadenas de médanos y con abundante presencia de arbolado de gran desarrollo, lo que le da una característica propia en comparación con otros balnearios de la costa bonaerense, donde la urbanización se ha desarrollado sobre una morfología más llana y sin vegetación. La infraestructura del balneario es básica, contando el mismo con servicio de electricidad y alumbrado público sin poseer abastecimiento de gas natural, agua potable ni cloacas.

La función turística le dio origen a la villa, de modo que las demás actividades económicas que se han desarrollado se hallan relacionadas con aquélla. Algunos pobladores desarrollan la pesca artesanal de carácter independiente. [10]

Respecto de los actores involucrados, la sociedad de Fomento Amigos de Pehuen-có juega un rol fundamental en la evolución de la villa balnearia, realizando diversas actividades para la promoción de mejoras, impulsando no sólo emprendimientos propios sino también elevando inquietudes y solicitudes concretas a las autoridades correspondientes. [11]

### **5. MARCO NORMATIVO INSTITUCIONAL**

La Constitución Nacional de 1.994 en su (Art. 124), establece que “corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio”. De la normativa en el ámbito provincial y local pueden destacarse por su relación con la temática las siguientes:

El Decreto-Ley N° 7.533/69 y 7.792/71 que crea el Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural (SPAR) de la Provincia de Buenos Aires y en su Art. 2 establece como objetivo, ejecutar en el ámbito provincial el Plan Nacional de Abastecimiento de Agua

Potable y Saneamiento Rural, estimulando la organización comunitaria y creando las condiciones necesarias para tal fin. El actual proyecto del sistema de abastecimiento de agua potable para la villa está en el marco del “Programa 300 Obras” realizado por el SPAR.

La Ley N°12.257, Código de Aguas de la Pcia. de Buenos Aires, establece en su Art. 57 la obligatoriedad de uso del servicio público de abastecimiento de agua potable que la autoridad imponga para su vivienda. En su Artículo 142 limita la urbanización sobre el frente costero.<sup>1</sup> Respecto del recurso hídrico subterráneo, en su título IV, artículos 82 al 89, establece las normas aplicables. En este capítulo se indican las condiciones que deben reunirse para el aprovechamiento e incluso las condiciones a cumplir por los perforados, debiendo en ambos casos contarse con aprobación de la Autoridad del Agua.

En el ámbito municipal: La Ordenanza (Expte D-755/95) sobre delimitación de zonas para usos específicos; intentando impulsar el ordenamiento urbano. La Ordenanza 2.053/89 sobre la creación de un Consejo Asesor de Control de Recursos Naturales y Medio Ambiente, organismo que tendría a su cargo el manejo de los recursos. La Ordenanza 2.660/97, Código de Edificación cuyo alcance es jurisdiccional, comprendiendo a todo el Partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales. No se establecen en este código especificaciones particulares para la villa balnearia Pehuen-có, excepto las relacionadas a la construcción de cercos medianeros. A partir del junio de 2.008 se encuentra en vigencia el Código de Zonificación, aprobado por Ordenanza Municipal 3.059.

## 6. GESTION ACTUAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS

El abastecimiento domiciliario de agua se realiza en forma directa del acuífero, siendo administrada en forma particular por cada propietario. Algunas perforaciones presentan contaminación biológica aportada especialmente por bacterias coliformes. La mayor presión sobre el acuífero se refleja en el crecimiento de perforaciones en las parcelas, así como el aumento de profundidad de explotación. Los problemas vinculados al tipo de utilización del recurso así como la coexistencia de perforaciones y cámaras sépticas, sin control de ningún organismo público sobre sus condiciones constructivas han impactado en forma negativa sobre la calidad del recurso.

La ejecución del Proyecto está planteada en cuatro etapas, habiéndose licitado ya las dos primeras. En el aspecto técnico, la primera etapa, comprende tres pozos de captación (hasta 50 metros), un tanque de abastecimiento elevado de 80 metros cúbicos y 7.250 metros de cañería de distribución. La primer etapa del proyecto esta delimitado por las calles Espora, Drumound, Dufourq, Juncal, Buchardo, 9 de Julio y Azopardo, indicado en la figura 2. En esta primera etapa se completarán 375 conexiones domiciliarias, mientras que en la siguiente se adicionarán 471 conexiones domiciliarias.[13]

El servicio de distribución de agua potable será administrado por la Cooperativa Eléctrica de Punta Alta responsable del servicio eléctrico también en Pehuen-có.

---

<sup>1</sup> Art. 142: Prohíbese el loteo y la edificación en una franja de ciento cincuenta (150) metros aldeaña al Océano Atlántico y la edificación sobre los médanos y cadenas de médanos que lleguen hasta el mar aún a mayor distancia. Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires.

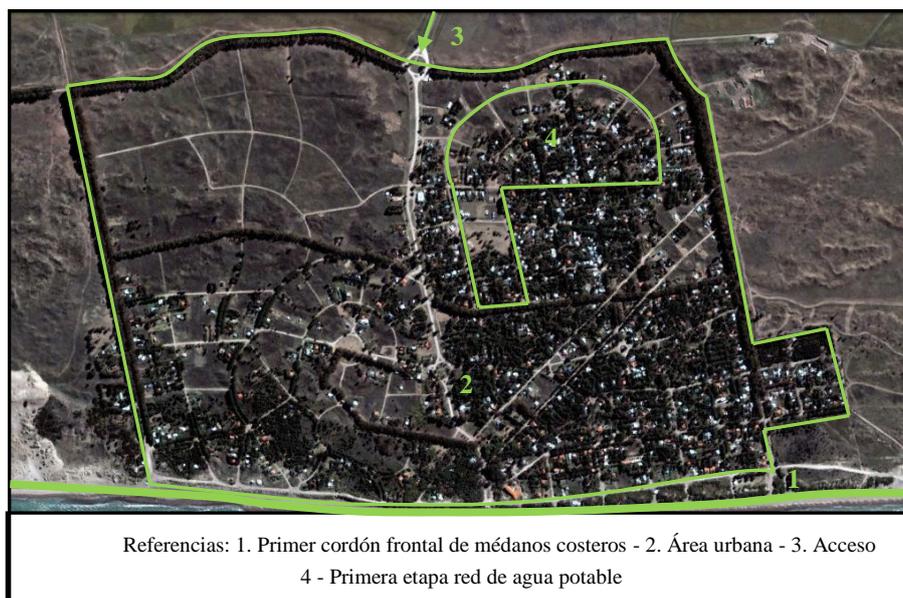


Figura 1 - Área servida del servicio de agua potable 1era. etapa. Elaboración propia en base a imagen satelital de Google Earth.

No existe en la villa balnearia red de desagües cloacales, la eliminación de los efluentes cloacales se realiza a través de pozos negros. Para la construcción de estos pozos se indica en el código de edificación del Partido de Coronel Rosales que la profundidad podrá llegar hasta la capa freática, no haciendo mención alguna respecto de la construcción de cámaras sépticas, ni de la distancia exigida a pozos de captación; aunque explicitando que debe respetarse la Ley Nacional de Obras Sanitarias.

## 7. DIAGNÓSTICO INTEGRADO SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN RELACIÓN AL AMBIENTE ANTRÓPICO

Pehuen-có se encuentra aún en una situación de baja intervención antrópica, lo cual la sitúa en ventaja respecto de otras localidades balnearias de la zona. Esto es producto probablemente de las características propias de la conformación social de la villa. El involucramiento de los actores sociales, se ha puesto en evidencia a través del compromiso de la población y potenciado por el nivel de formación de la población estacional, siendo visible la sensibilización comunitaria respecto de las cuestiones ambientales y actitudes conservadoras que tienden a preservar las condiciones apacibles del lugar, generando situaciones de conflicto social toda vez que se pone en riesgo el perfil original de la villa. La sociedad de fomento Amigos de Pehuen-có juega sin duda un papel fundamental en el desarrollo de la villa. La misma está integrada tanto por residentes permanentes como temporarios que se ven comprometidos seriamente con el lugar, con la participación en las múltiples actividades y mejoras llevadas a cabo por la entidad y en la posición tomada respecto de los proyectos de mejoras publicitados a nivel gubernamental, en los que se observa una fuerte presión sobre las situaciones de cambio. Ya en el año 1997 se decía que

si bien el SPAR (Servicio Provincial de Agua y Saneamiento Rural) había presentado ante el Departamento Ejecutivo un proyecto para la provisión de agua potable, aún no se había materializado su construcción, debido a la oposición de los habitantes. [12]

No obstante el impacto positivo del proyecto de la red de abastecimiento de agua potable en cuanto a la posibilidad de controlar la calidad de agua a fin de que sea apta para consumo, la comunidad se manifiesta en contra de la ejecución del mismo, esto se da en dos casos: quienes plantean el derecho a obtener agua en forma gratuita mediante sus propios medios y quienes plantean que esta red traerá crecimiento poblacional y desarrollo turístico, poniendo en riesgo la imagen construida del lugar, tranquilidad y vegetación.

Dada la situación actual del balneario, en la transición entre el sistema de captación de agua unitario y la red de abastecimiento de agua potable actualmente en ejecución, se asocia el riesgo al deterioro del ambiente como consecuencia del potencial desarrollo del lugar facilitado por la disponibilidad del agua potable con el nuevo sistema de distribución. La ausencia de un plan de desarrollo potencia los riesgos de que la percepción de los vecinos respecto de las posibilidades de crecimiento esté asociada más a aspectos negativos que a mejorar las condiciones de la villa.

## **8. IDENTIFICACIÓN DE ALGUNAS ESTRATEGIAS A PARTIR DEL ANÁLISIS VALORATIVO DE LA MATRIZ FODA**

Del análisis de este diagnóstico se detectan como amenazas:

1. La *resistencia al proyecto por parte de algunos sectores* como consecuencia de la prevalencia de población residencial temporal, que ve adicionado un costo fijo al mantenimiento de la vivienda sin hacer uso del mismo durante gran parte del año.
2. La potencial *modificación de la imagen construida del lugar*, dado que el acceso al servicio podría atraer nuevos emprendimientos e inversiones que pongan en riesgo el perfil apacible de la villa.
3. Una *insuficiente información sobre el proyecto* desde los organismos gubernamentales, que potenciaría la oposición de algunos sectores de la comunidad.
4. La *expansión urbana no planificada* que podría surgir como consecuencia de la mejora en el acceso a los servicios y la inexistencia de un código que planifique el desarrollo urbano?
5. La inexistencia de un *plan de gestión integrada de recursos hídricos* que contemple la nueva modalidad a través de la ejecución de la obra de red de abastecimiento de agua potable y la coexistencia de ésta con la modalidad actual de explotación individual.
6. Una probable *sobreexplotación del recurso* podría observarse como consecuencia del acceso simple al recurso, significando esto una mayor demanda puntualizada en los pozos centrales de abastecimiento.

Las oportunidades detectadas son:

7. Un *potencial crecimiento turístico* resultante de la mejora en los servicios de agua potable.
8. *Mayores posibilidades de inversión inmobiliaria* dado el valor agregado que el acceso a los servicios básicos de saneamiento trae aparejado.
9. Una *mejora en la calidad de vida de la población* como consecuencia de la posibilidad de acceso al agua potable, cuya calidad será garantizada por el prestatario del servicio.
10. El *fortalecimiento de las organizaciones civiles* como consecuencia de su

involucramiento en los temas ambientales.

Siguiendo con el análisis del diagnóstico integrado surgen como fortalezas:

11. El *compromiso de los vecinos con el lugar* resultado de las características particulares del sector residencial temporario y permanente, cuyo objetivo es disfrutar de un lugar que permita el descanso y esparcimiento en forma natural.
12. Las *condiciones ambientales con baja intervención antrópica* que permiten al ambiente readaptarse en condiciones más favorables a los cambios introducidos.
13. La *escala demográfica pequeña*, la cual favorece la interacción entre los distintos actores.
14. El *primer cordón frontal de médanos costeros respetado*, el cual permite el natural avance y retroceso marítimo, actuando además como límite natural al crecimiento poblacional hacia la línea de costa
15. La *diversidad de actores involucrados* con la participación activa de los vecinos originarios y los residentes temporarios nucleados por la sociedad de fomento en contraposición al sector de gestión gubernamental y planificación y los administradores del servicio de agua potable, la cooperativa eléctrica de Punta Alta.
16. La *mejora de los accesos terrestres* que podría permitir tener acceso a mejores calidades técnicas y materiales para la ejecución de la obra de red de abastecimiento de agua potable.

De la misma forma surgen como debilidades:

17. La *presión estacional sobre el acuífero* producto de la población fluctuante, elevada en época estival y muy baja el resto del año.
18. La *deficiente planificación urbana* la cual pone en riesgo una adecuada consolidación de la urbanización repitiendo errores ya observados en balnearios cercanos.
19. El *riesgo de desfase negativo entre pago del servicio y costo real*, como consecuencia de las variaciones fluctuantes en la economía y que podrían poner en riesgo futuro el adecuado funcionamiento del sistema.
20. La *debilidad institucional* evidenciada por la ausencia de control tanto para el consumo de agua como para el vuelco de los efluentes al suelo.
21. La *ausencia de un plan de desarrollo* aplicable puntualmente al sector, que surja del análisis de las características propias del lugar.
22. La *contaminación biológica de aguas subterráneas* observada en varios sectores de la villa.

Los resultados del análisis de la matriz FODA, sugieren que las oportunidades relacionadas tanto al crecimiento turístico como a las mayores posibilidades de inversión inmobiliaria podrían no ser aprovechadas en todo su potencial dado la posible merma en el acceso al recurso hídrico, consecuencia de la presión estacional sobre el acuífero y la contaminación biológica del mismo, ambas cuestiones potenciadas por la debilidad institucional.

Respecto de los efectos potenciales del nuevo sistema, existe la condición del posible desfase negativo entre el pago del servicio y los costos reales del mantenimiento del sistema. Las oportunidades del nuevo sistema podrían verse favorecidas como consecuencia de las características sociales y naturales particulares del lugar: compromiso de los vecinos favorecido por su pequeña escala, condiciones ambientales de baja intervención antrópica y respeto a las condiciones naturales de línea costera. Asimismo la mejora en los accesos

terrestres, supone también un factor que permitiría aprovechar las oportunidades de crecimiento turístico, inmobiliario y mejora de la calidad de vida de la población.

		FORTALEZAS						DEBILIDADES					
		11. Compromiso de los vecinos con el lugar	12. Condiciones ambientales con baja intervención antrópica	13. Escala demográfica pequeña	14. Primer cordón mediano respetado	15. Diversidad de actores involucrados	16. Mejora de los accesos terrestres	17. Presión estacional sobre el acuífero	18. Deficiente planificación urbana	19. Riesgo de desfase negativo entre pago del servicio y costo real	20. Debilidad institucional	21. Ausencia de un plan de desarrollo	22. Contaminación biológica de aguas subterráneas
AMENAZAS	1. Resistencia al proyecto por parte de algunos sectores	-	=	-	=	-	=	=	-	-	-	-	+
	2. Modificación de la imagen contruida del lugar	-	=	=	=	-	-	=	-	=	-	-	=
	3. Insuficiente información sobre el proyecto	+	=	+	=	+	=	=	-	=	-	=	=
	4. Expansión urbana no planificada	+	=	-	=	+	-	=	-	=	-	-	=
	5. Inexistencia de plan de GIRH	+	=	+	=	+	=	=	-	=	-	=	=
	6. Sobreexplotación del recurso	+	-	+	=	=	-	-	-	-	-	-	-
OPORTUNIDADES	7. Crecimiento turístico	+	+	=	=	=	+	-	=	=	-	=	=
	8. Mayores posibilidades de inversión inmobiliaria	=	+	+	=	=	+	-	=	=	-	=	-
	9. Mejora en la calidad de vida de la población	+	+	+	+	=	+	-	-	-	-	-	-
	10. Fortalecimiento de las organizaciones civiles	+	=	+	=	+	=	=	=	=	+	=	=

Tabla 1 - Matriz FODA. Elaboración propia

El fortalecimiento de las organizaciones civiles cobra particular importancia, como expresión organizada de diferentes actores en la construcción de mejores condiciones de gobernanza.

En las amenazas se observa que el compromiso de los vecinos con el lugar y la diversidad de actores involucrados juegan un papel preponderante en el potencial riesgo de conflicto, ahora manifestado con expresiones de resistencia al proyecto, por parte de algunos sectores.

No obstante las amenazas podrían verse mitigadas como consecuencia del aprovechamiento de las fortalezas relacionadas en general al ambiente social: compromiso de los vecinos con el lugar, escala demográfica pequeña y diversidad de actores involucrados.

Como síntesis de este análisis valorativo de la matriz FODA se desprende que las amenazas más significativas están vinculadas a las características, tanto relativas a la calidad como a la cantidad del recurso hídrico subterráneo y a la percepción de la comunidad respecto del proyecto de red de abastecimiento de agua potable.

Una estrategia reactiva para la atenuación de los potenciales efectos de estas amenazas es la

sensibilización a corto plazo de la comunidad, a través de una adecuada información respecto del proyecto basada en sondeos previos respecto de su percepción del mismo.

Como estrategia defensiva a mediano plazo: la elaboración de un plan de gestión integrada de recursos hídricos; explorar posibilidades de desarrollo en torno a la actividad turística y una mejora en la calidad de vida de la población como consecuencia del acceso directo al agua potable; implementar instrumentos que faciliten el control y monitoreo de la calidad del recurso y el establecimiento de normas constructivas y sanitarias que aseguren el adecuado funcionamiento del sistema estático mientras coexistan ambas modalidades de gestión.

Tanto la gestión del servicio como la planificación urbana requieren generar espacios de consenso que aseguren la participación comunitaria a través de su representación mediante los actores clave vinculados a la construcción de la gobernanza del recurso.

## 9. CONCLUSIONES

- El recurso hídrico subterráneo de Pehuen-có se ve afectado por la modalidad de aprovechamiento actual.
- La modalidad de uso del recurso en forma individual podría limitar el desarrollo urbano de la villa balnearia.
- La red de abastecimiento de agua potable ofrece posibilidades de desarrollo vinculadas principalmente al turismo.
- El potencial desarrollo resultante de este cambio debería ser enmarcado en una planificación estratégica en la cual no deje de contemplarse la gestión integrada de recursos hídricos.

Tanto la gestión del servicio como la planificación urbana requieren generar espacios de consenso que aseguren la participación comunitaria a través de su representación mediante los actores clave vinculados a la construcción de la gobernanza del recurso.

## 10. REFERENCIAS

- [1] Horacio V. González Martínez, *El bosque junto al mar. Memorias de Pehuen-có*, Edición propia, (1992).
- [2] Domingo Gómez Orea, *Evaluación ambiental estratégica. Un instrumento para integrar el medio ambiente en la elaboración de planes y programas*, Ediciones Mundi-Prensa, (2007).
- [3] Luque et al., *Estudio hidrológico e hidrogeológico de la Cuenca del Río Sauce Grande*, Universidad Nacional del Sur, (1979).
- [4] Claudia F. Fornerón, María C. Piccolo y María E. Carbone, *Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina)*, Revista Huellas. N°14, pp.11-30, (2010).
- [5] Margarita Bróndolo y Sandra Bazán, *Geografía de Punta Alta y Partido de Coronel Rosales. El espacio geográfico potencialidades y restricciones*, Universidad Nacional del Sur, (2000).
- [6] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*, Ministerio de Economía de la República Argentina, (2001).
- [7] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*, Ministerio de Economía de la República Argentina, (1991).
- [8] Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento, *Estudios preliminares para el diseño*

- de las obras*, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios Secretaría de Obras Públicas de la República Argentina, (2003).
- [9] Diario La Nueva Provincia, *Más de 50.000 turistas en el fin de semana*, 4 de Enero de 2011.
- [10] Andrea Bazán, *Centros poblados de rango menor del Partido de Coronel Rosales*, Tesis de Grado de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional del Sur, (2003).
- [11] Sociedad de Fomento Amigos de Pehuen-có, *La institución y algunas gestiones*, Revista Hábitat, Vol. 35, pp. 5, (2011).
- [12] Sandra Nancy Bazán, *Aprovechamiento de recursos naturales y problemáticas derivadas de su uso en el Balneario Pehuen-có*, Tesis de Grado de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional del Sur, (1997).
- [13] Diario La Nueva Provincia, *Se inicia la obra de agua potable para Pehuen-có*, 5 de Junio de 2011.

## CONCENTRACION DE NITRATOS EN AGUAS NATURALES

**Bazán, José Manuel<sup>1</sup>; Alberino, Juan Carlos<sup>2</sup>; Battisgtessa, Gastón<sup>2</sup>**

1: Grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS)  
Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
60 y 124 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: ecass@frlp.utn.edu.ar

2: Grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS)  
Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
60 y 124 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: ecass@frlp.utn.edu.ar

**Palabras clave:** Nitratos, método, calidad de agua

**Resumen:** *El anión nitrato ( $NO_3^-$ ) esta siempre presente en aguas naturales, asociado frecuentemente a otros iones como nitrito ( $NO_2^-$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ). Las fuentes naturales son: de la atmosfera y la degradación de la materia orgánica nitrogenada, a estas fuentes se le adiciona la influencia antrópica. Este último aporte trae como consecuencia el aumento de la concentración en aguas que se utilizan como fuente de agua potable, con incidencia nociva para la salud.*

*Los métodos analíticos empleados por el ECAASS son; reducción en columna cadmio- cobre, electrodo selectivo y espectrofotometría UV. Se describe someramente cada método con su fundamento y se mencionan las ventajas e inconvenientes de cada uno.*

*Se muestran gráficamente resultados obtenidos en aguas naturales de distinta procedencia. El estudio efectuado en el Gran La Plata durante los años 1997 y 2008 permitió comparar las concentraciones de nitratos en agua de red donde se comprueba un aumento del mismo en el agua potabilizada del Río de La Plata.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación con nitratos y nitritos es una de las causas principales del deterioro de las aguas continentales, especialmente de las subterráneas. Este tipo de contaminación aparece como la más difundida geográficamente y vinculada a la mayor parte de las actividades humanas.

Los nitratos y los nitritos se producen por mineralización de la materia orgánica y por fijación biológica del nitrógeno atmosférico. Existe una cantidad adicional de nitrato cuando, por acción de las descargas eléctricas, se combinan el nitrógeno y el oxígeno atmosféricos produciendo monóxido de nitrógeno, a partir del cual se forma ácido nítrico, el que pasa al suelo a través de las precipitaciones.

La presencia de nitratos y nitritos en el agua se debe al uso de fertilizantes que contienen nitratos, sales de amonio o urea; a la descomposición de materia orgánica; a la eliminación de efluentes cloacales en el subsuelo; a ciertas descargas industriales, tales como las provenientes de mataderos; y el arrastre del agua pluvial en los basureros a cielo abierto.

Los nitratos son convertidos en nitritos en el organismo por acción de ciertas bacterias, cuando la acidez es relativamente baja. Los nitritos provocan la conversión de la hemoglobina en metahemoglobina, que es incapaz de actuar como portador de oxígeno en la sangre.

Normalmente, entre el 1 y el 2% de la hemoglobina del organismo se halla en forma de metahemoglobina, pero cuando la proporción excede el 10% es posible detectar los efectos clínicos de la afección conocida como metahemoglobinemia, que afecta a los infantes (lactantes).

En ciertas condiciones, los nitritos pueden reaccionar en el cuerpo con amidas, para formar N-nitrosoaminas (denominadas comúnmente como nitrosaminas), algunas de las cuales se consideran que son cancerígenas. Así, por ejemplo, la dimetilamina se combina con el ácido nitroso produciendo la dimetil-N-nitrosoamina. Este proceso ocurre en una solución ácida, en un rango de pH comprendido entre 1 y 5, que corresponde a acidez normal en el estómago de los seres humanos.

Fuentes de nitrato	
Aporte en el agua de lluvia de formas nitrogenadas.	
Fenómeno de nitrificación	
Actividades agrícolas	Fertilizantes inorgánicos y orgánicos.
	Uso excesivo de purinas.
	Herbicidas y pesticidas que contienen nitratos.
Actividades ganaderas	Almacenamiento de estiércoles.
Actividades industriales y urbanas	Vertidos efluentes
	Aguas residuales

Tabla 1

## 2. MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS

El análisis de nitratos en aguas es relativamente delicado debido a los procedimientos de cierta complejidad que son necesarios llevar a cabo y la elevada probabilidad que se hallen

sustancias interferentes. Siempre es deseable conocer aspectos de la muestra (interferencias probables y los niveles de concentración) que nos orienten en la selección del método más adecuado para la determinación. Los métodos colorimétricos requieren una muestra ópticamente clara. Se filtran las muestras turbias por filtro de membrana con poro de diámetro  $0,45\mu\text{m}$ , ensayándose un blanco de filtro.

El análisis se debe efectuar de ser posible en forma inmediata. Si se debe almacenar, conservar la muestra a  $4^{\circ}\text{C}$  hasta 24 hs. Para periodos mas prolongados una buena alternativa es congelar la muestra (previamente filtrada) a  $-18/ -20^{\circ}\text{C}$ .

### 2.1. Reducción por columna de Cadmio- Cobre -(Norma SM 4500- $\text{NO}_3^-$ E)

Se utiliza una columna rellena (Figura 1) de Cd- cobreado, que establece un potencial de reducción suficiente para llevar los nitratos existentes a nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) los cuales se cuantifican mediante una reacción colorimétrica (lectura de absorbancia a  $543\text{nm}$ ) trabajando con curvas de calibración. La eficiencia de reducción alcanza el 95% y en los cálculos debe realizarse una corrección por la cantidad de nitritos presentes originalmente.



Figura 1: Columna Cd-Cu para reducción de  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$

### 2.2. Método de medición con electrodo selectivo -(Norma SM 4500- $\text{NO}_3^-$ D)

El electrodo selectivo utilizado (Figura 2) permite la cuantificación directa mediante una curva de calibración adecuada al rango esperado de nitratos en la muestra.

El electrodo de nitrato consiste de un cuerpo de electrodo y un módulo reemplazable. El potencial de electrodo se desarrolla a través de la membrana, que depende de la concentración de iones de nitrato libres en solución.

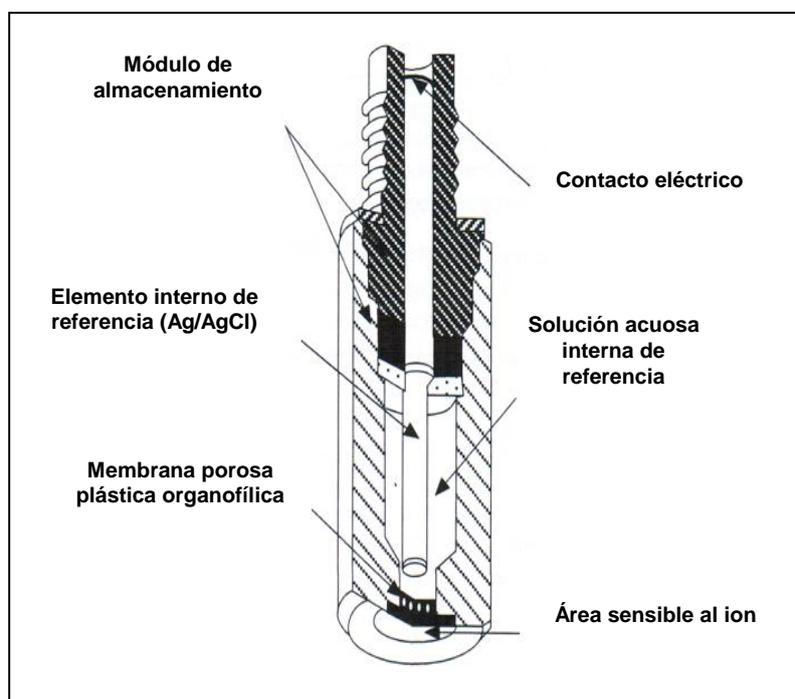


Figura 2

El potencial medido, que corresponde al nivel de ion nitrato en la solución, se describe con la ecuación de Nernst:

$$E = E_0 + S \log (A) \quad (1)$$

Donde: E = potencial de electrodo medido,  $E_0$  = potencial de referencia (constante).

A = concentración de nitrato en solución, S = pendiente del electrodo.

La Figura 3 muestra una curva típica de la respuesta del electrodo selectivo cuyo funcionamiento consiste en la medición del potencial generado en el sistema (graficado en ordenadas) en relacionadas con unidades de concentración (en abscisas) expresadas en ppm de  $\text{NO}_3^-$ (N) o ppm  $\text{NO}_3$ .

En las regiones lineales de las curvas, sólo dos estándares son necesarios para determinar una curva de calibración. Esta curva sirve sólo como un ejemplo, los valores de mV pueden diferir.

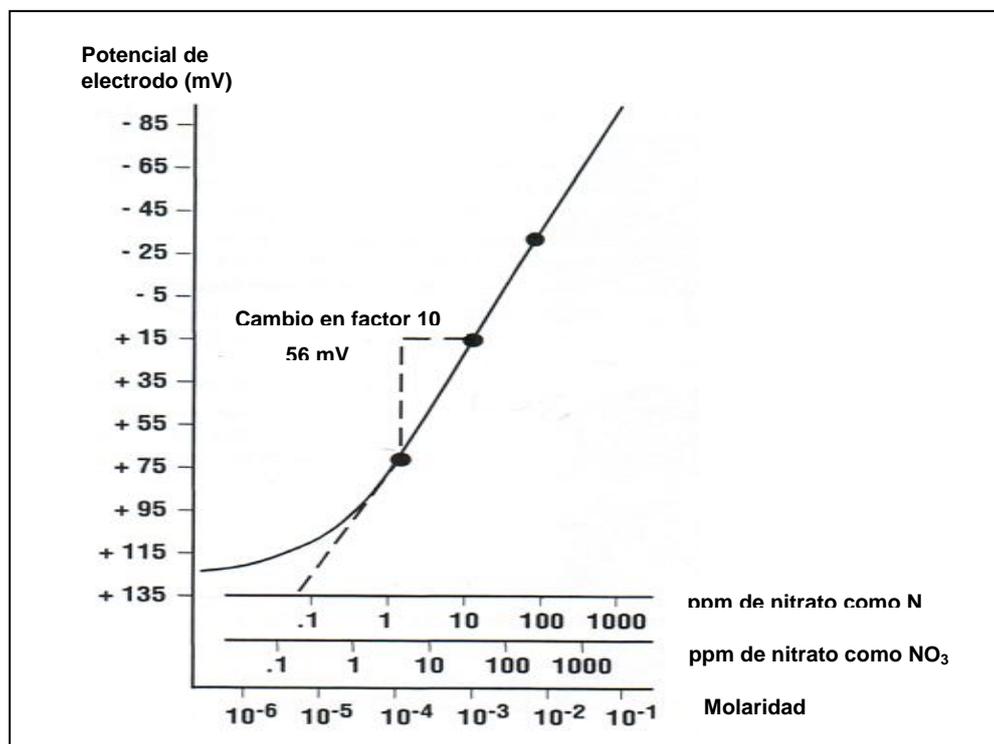


Figura 3: Curva de calibración típica del electrodo para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

### 2.3. Método de medición espectrofotométrica UV -(Norma SM 4500- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> B)

Se mide la absorción UV (Figura 4) a 220nm. La curva de calibrado cumple la ley de Beer en un rango acotado. Se puede utilizar una segunda medida a 275nm para corregir la interferencia de la materia orgánica



Figura 4: Espectrofotómetro UV- visible

## 2.4. Comparación de ventajas e inconvenientes en la utilización de cada metodología analítica.

Método analítico	Ventajas	Inconvenientes
Reducción por columna de Cadmio- Cobre	Muy buena reproducibilidad. Bajo costo de preparación y mantenimiento. Minima interferencia de otras especies, con elevada especificidad. Equipamiento económico.	La operatoria ofrece cierto grado de complejidad. Tiempo de proceso prolongado. Adecuado para bajas concentraciones. Para algunas muestras se necesita efectuar diluciones de las muestras.
Espectrofotométrica UV	Bajo costo operativo. Rapidez de análisis. Muy buena reproducibilidad. Operatoria sencilla.	Interfiere la materia orgánica. Adecuado para aguas naturales poco contaminadas o suministro de agua potable. Elevado costo del equipamiento.
Electrodo selectivo	Uso de pequeño volumen de muestra. Una vez calibrado ofrece rápida respuesta a una serie de muestras. Medición en amplio rango de concentraciones con buena precisión y exactitud. Operatoria sencilla.	Limitada vida útil (3 a 6 meses, según su uso). Equipamiento relativamente costoso. Interfieren los cloruros. Utiliza varias soluciones para su funcionamiento y es necesario agitación continua.

Tabla 2

## 3. CONCENTRACION DE NITRATOS EN AGUAS DE CONSUMO EN EL GRAN LA PLATA

El agua subterránea provee el 50 % del agua potable (acuífero Puelche, de bajo tenor salino, en general menor a 1 g/dm<sup>3</sup>) del volumen total y el Río de La Plata (Planta potabilizadora de Punta Lara), el resto. En la periferia de La Plata existe un cinturón fruti- hortícola que utiliza exclusivamente agua subterránea para el riego. Este trabajo establece la variación de la calidad del agua en su aspecto fisicoquímico con referencia al contenido en nitratos (si bien se realizaron los análisis de otras especies para poder evaluar potenciales interferencias), en muestras tomadas en los años 1997 y 2008.

El análisis de la calidad de las aguas de consumo incluye una serie de determinaciones que están relacionadas fundamentalmente con las características organolépticas (sabor y olor), bacteriológicas y fisicoquímicas.

### 3.1. Desarrollo

El siguiente trabajo comprende la evaluación de la calidad del agua potable del Gran La Plata, considerando el aspecto fisicoquímico y excluyendo el bacteriológico. Se compararon los

resultados de los análisis efectuados en el año 1997 con los de mayo de 2008 tomando como valores de referencia los fijados por la normativa vigente, Ley PBA- N° 11.820 (1996).

### 3.2. Materiales y métodos

Las muestras fueron tomadas de grifo de uso diario en 22 domicilios distribuidos en los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada en Noviembre de 1997 y en 23 domicilios con distribución semejante en Abril de 2008 y se colectaron en botellas plásticas de 1 dm<sup>3</sup>. Las determinaciones fisicoquímicas realizadas fueron: pH, conductividad, cloro residual, sólidos disueltos, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, amoníaco, dureza, calcio, magnesio, sílice y las muestras se mantuvieron en refrigeración a 6°C (+/- 2°C), hasta su procesamiento antes de las 48 hs. Para la preparación de los reactivos se utilizaron drogas analíticas de calidad PA y con trazabilidad comprobada. Se tomó una muestra adicional para la determinación de metales pesados, a la cual se le agregó, una vez en el laboratorio, ácido nítrico para su preservación, solo para el muestreo efectuado en el año 2008. Se utilizó como Norma de metodología analítica la correspondiente al Estándar Métodos (SM) año 1992.

## 4. RESULTADOS

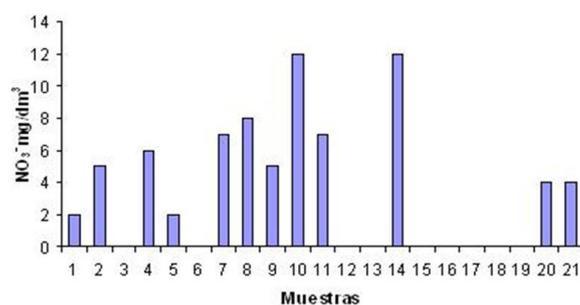


Figura 5. Concentración de Nitratos 1997 en aguas de consumo domiciliario.

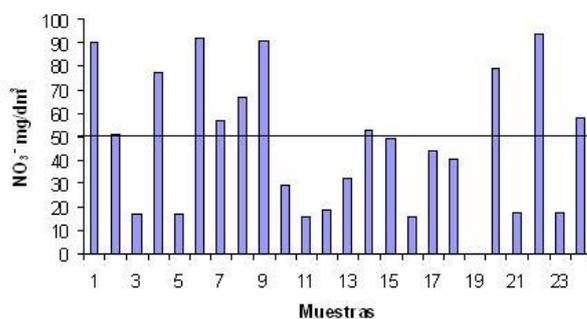


Fig. 2b Concentración de Nitratos 2008

Figura 6. Concentración de Nitratos 2008 en aguas de consumo domiciliario

La concentración de sílice en las muestras permitió identificar el origen, dado que a los efectos del manejo del recurso y por diversos motivos, se envían a ciertos destinos de la red mezcla de agua potabilizada del Río de La Plata y aguas subterráneas (pozos).

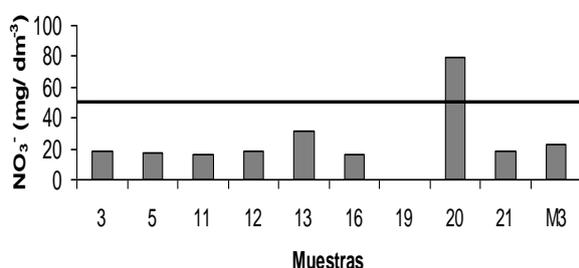


Figura 7. Concentración de Nitratos agua de río 2008 potabilizada

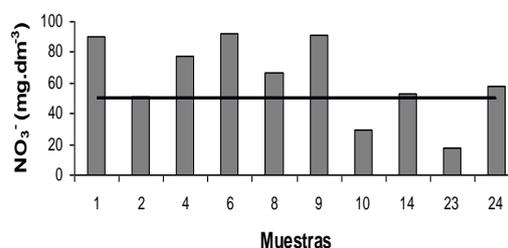


Figura 8. Concentración Nitratos agua de pozo 2008

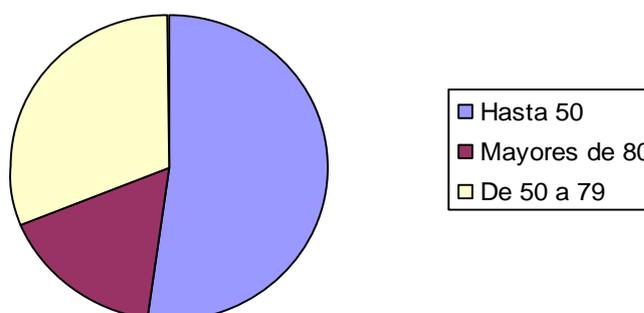


Figura 9. Distribución de concentración de Nitratos 2008

## 5. CONCLUSIONES

De la comparación de los valores obtenidos con los que establece la legislación vigente (Ley 11.820 marco regulatorio para la prestación de los servicios públicos de provisión de agua potable y desagües cloacales) se concluye que la mayoría de los parámetros medidos están dentro de los límites establecidos por la Norma, excepto algunos sitios en los cuales se observa una alta concentración de cloruros y de nitratos. Para los nitratos, del total de las muestras analizadas, el 44 % supera el valor de 50 mg/dm<sup>3</sup> y de este porcentaje, el 50 % supera los 70 mg/dm<sup>3</sup>. Estos resultados indican un problema que no es nuevo sino que viene afectando a la región desde hace tiempo atrás. Según un trabajo anterior presentado en las Segundas Jornadas Regionales sobre Medio Ambiente Natural en el año 1988, ya existía el problema de la elevada concentración de nitratos en determinados sitios de la red de agua potable, con concentraciones de hasta 135 mg/dm<sup>3</sup>.

Se comprueba que la elevada concentración de nitratos observada en algunos puntos de muestreo, se debe al agua subterránea y que hace necesario la mezcla con agua de río

potabilizada en volúmenes crecientes, para obtener valores aceptados por la normativa vigente.

Como conclusión final este trabajo pone de manifiesto que la tendencia en el aumento de la concentración de nitratos en el agua de río deberá confirmarse con nuevos monitoreos. Tarea que se está realizando en la actualidad con un muestreo similar efectuado en junio de 2011.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Auge, MP, Investigación hidrogeológica de La Plata y Alrededores, Tesis Doctoral # 2947, Universidad de Buenos Aires, Ined. Buenos Aires, (1997).
- [2] Provincia de Buenos Aires Ley N° 11.820. Prestación de los Servicios Públicos de provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales, (1996).
- [3] Bazán, JM, Concentración de Nitratos en Agua de Consumo. Segundas Jornadas Regionales Sobre Medio Ambiente Natural, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP) y Municipalidad de La Plata, (1988).
- [4] AGOSBA (Administración General de Obras Sanitarias de Buenos Aires)- OSN (Obras Sanitarias Nacional) – SIHN (Servicio de Hidrografía Naval). Río de La Plata, Calidad de las Aguas. Franja Costera Sur (San Isidro- Magdalena), (1994).
- [5] APHA- AWWA-WPCF, Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, Ed. Díaz de Santos, S.A-Madrid. España. Traducción de la 17 Edition, (1992).
- [6] Hill, M, “Nitrates and nitrites in food and water”, *Ellis Horwood series in food science and technology*, (1991).



## CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA LOS LIRIOS - CHACO

**Hervot, Elsa<sup>\*</sup>; Roshdestwensky, Sergio; Farías, Alejandro; Tenev, María Daniela; Utgés, Enrique; Utgés, Enid y Prieto, Laura**

Grupo de Investigación y Servicios a Terceros en el Área Química.  
Facultad Regional Resistencia  
Universidad Tecnológica Nacional  
French 414, primer piso. 3500 Resistencia. Chaco.  
gistaq@frre.utn.edu.ar

**Palabras clave:** Agua, Laguna, Contaminación, ICA

**Resumen.** *En las ciudades de Resistencia y Barraqueras han quedado incluidas una serie de lagunas, ex meandros del Río Negro. Entre ellas pueden citarse las denominadas Argüello, Los Lirios y Prosperidad. Estos reservorios cumplen una importante función durante lluvias muy copiosas, actuando como receptores de gran cantidad de agua y posteriormente drenándola lentamente y reteniendo el excedente.*

*En tres proyectos sucesivos se pretende caracterizar estos cuerpos de agua evaluando su naturaleza química, física y microbiológica. Además la determinación de la calidad a través del INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) permitirá establecer estrategias para planificar el manejo de los recursos hídricos.*

*Se estudian variables físico-químicas y bacteriológicas indicadoras del grado de contaminación del agua de la laguna Los Lirios, mediante un seguimiento sistematizado que se extenderá tres años.*

*Con los primeros datos obtenidos se realizaron correlaciones importantes que avalan juicios de valor sobre el grado de contaminación.*

*Los valores obtenidos para el citado índice, varían entre 35 y 55, indicando que la fuente sólo podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En el Área Metropolitana del Gran Resistencia, dentro del sector circundado por las defensas contra inundaciones, se encuentra una serie de lagunas que formaron parte del sistema fluvial lacustre del Río Negro.

La laguna en estudio, Los Lirios, recibe, además de las aguas pluviales, el aporte de la laguna Argüello, la más cercana al centro de Resistencia, a través de un angosto canal.

Está ubicada dentro de una zona densamente poblada y recibe permanentemente los embates de los moradores de la misma.

Las defensas han interrumpido la conexión natural que hacía que todo el sistema de lagunas fluyera libremente y cada una de ellas ha adquirido un funcionamiento propio, independiente de las crecientes de los ríos.

En particular las lagunas Los Lirios y Prosperidad quedaron separadas por el terraplén de las defensas. Ante grandes lluvias, el nivel de Los Lirios aumenta mucho. Para compensarlo, se

pone en marcha la estación de bombeo ubicada sobre el citado terraplén. El excedente hídrico es trasvasado a la laguna Prosperidad. Ésta, luego de algunos kilómetros termina desaguando en el Río Negro.

Algunas causales del proceso de degradación ambiental de las lagunas son:

- La falta de infraestructura del sistema cloacal que presta servicio sólo a algo más del 35% del Área Metropolitana Gran Resistencia (A.M.G.R.) Esta situación potencia la "conexión clandestina" de los efluentes cloacales a la red pluvial.
- El significativo proceso de inmigración, protagonizado por mano de obra desocupada proveniente del interior productivo, que ha generado un acelerado crecimiento poblacional, que ha rebasado cualquier planificación existente para un desarrollo ordenado
- El relleno de las lagunas, impidiendo su función natural de drenaje del sector urbano durante lluvias importantes y retención del excedente.
- La proliferación de micro basurales espontáneos.

Esto hace muy probable que las lagunas estén contaminadas y en proceso de eutrofización.

## **2. OBJETIVOS:**

- Caracterizar fisicoquímica y bacteriológicamente el agua de la laguna Los Lirios, para disponer de herramientas que faciliten la comprensión del estado trófico del sistema constituido por la laguna misma, el aporte de la laguna Argüello y los afluentes artificiales (descargas de líquidos pluviales y cloacales) que a ella llegan.
- Establecer los parámetros más representativos para su seguimiento en el tiempo y para la determinación del INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA).
- Finalizado el trabajo, elevar a la Administración Provincial del Agua (APA) y a la Municipalidad de Resistencia las conclusiones.

## **3. DESARROLLO:**

### **3.1 Metodología de Trabajo:**

El presente trabajo se lleva a cabo en dos etapas. La primera, que se realiza actualmente, consta de la caracterización de la cuenca hidrológica en estudio (Laguna Los Lirios).

Los datos de geomorfología se obtuvieron de los distintos trabajos existentes [5, 6, 7].

El área de estudio considerada, corresponde a la laguna Los Lirios, que se halla inserta en la trama urbana de la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina. Esta Laguna es un cuerpo de agua extenso, de forma irregular y de poca profundidad, entre 0,50 m – 1,80 m. Posee un espejo de agua permanente del orden de 60 ha; su cuenca de aporte tiene una superficie de 508 ha; abarcando zonas urbanas densamente pobladas y sectores periurbanos. En zonas aledañas a la Laguna se encuentra el Hospital Provincial Perrando, el Chaco Golf Club, y algunos talleres mecánicos, lavaderos de vehículos y casas de familia. En las riberas de la laguna hay asentamientos poblacionales, que además de ser ilegales, no cuentan con la infraestructura adecuada, también existen huertas de tipo familiar, pequeñas ladrillerías y criaderos de porcinos [5]. Las personas que allí habitan pertenecen a un sector marginal de la sociedad, con bajos recursos y en ocasiones deficiencias en la calidad alimentaria, sanitaria y educacional.[7]

En primer término se diseñó un plan de monitoreo. La toma de muestras se realizó a lo largo del año, incluyendo los períodos de creciente o inundación y de bajante o sequía. Los seis puntos de muestreo seleccionados se fijaron de tal manera que fueran representativos de todo el cuerpo de agua. El período de monitoreo va desde septiembre de 2010 hasta junio de 2011. Se realizaron muestreos mensualmente, en el mismo horario, para mantener condiciones de uniformidad y homogeneidad en los mismos.

Las tomas se realizan con muestreador Bailer, se colocan en recipientes de 2 litros y después se transvasan a los recipientes adecuados para su conservación, de acuerdo a lo que recomienda la técnica empleada para cada parámetro, según Métodos normalizados [2]. Además, se determinan in situ la temperatura y el oxígeno disuelto en cada uno de los puntos de la laguna.

Las muestras fueron tomadas por personal del Laboratorio GISTAQ transportado por empleados municipales en una piragua de esa Institución. La ubicación de la laguna y los puntos de muestreo se señalan en las Figuras 1 y 2. En estas imágenes se puede apreciar una macrolocalización, donde se indica la ubicación geográfica de la laguna Los Lirios en la Ciudad de Resistencia, y también una microlocalización donde se marca la ubicación de los puntos de muestreos seleccionados.

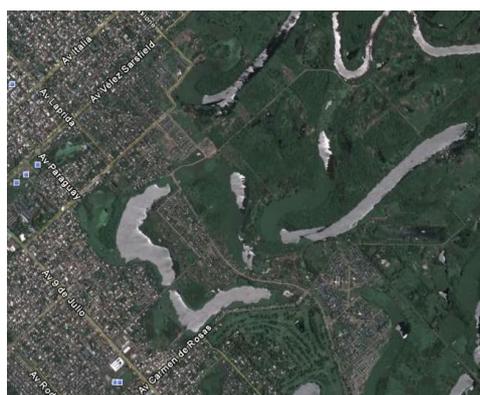


Figura 1 –Imagen Satelital: macrolocalización

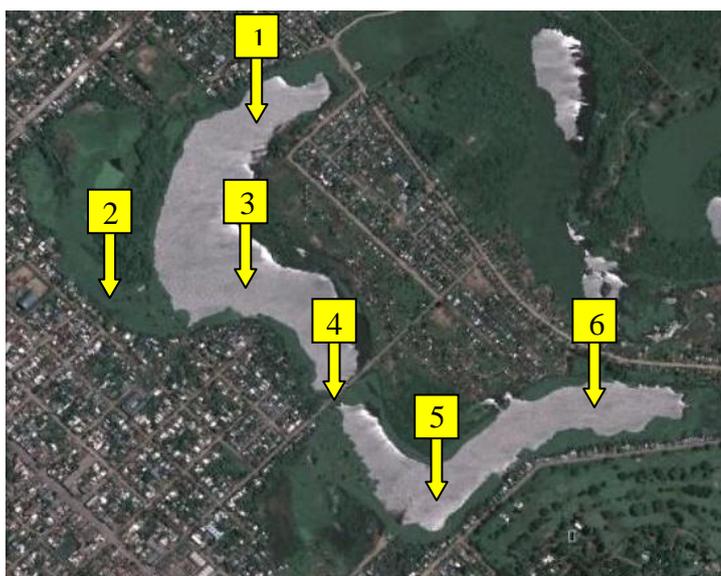


Figura 2 – Imagen Satelital: Ubicación de los Puntos de Muestreo – microlocalización



Figura 3 - Basurales



Figura 4 – Descargas clandestinas.

En fotografías tomadas para el muestreo se evidencian las condiciones de las márgenes de la laguna, observándose deficiencias sanitarias, basurales y tuberías de descarga. Para el análisis de los distintos parámetros físico-químicos del agua se utilizaron métodos normalizados [2]. Los parámetros determinados y los métodos empleados son:

Parámetro	Método
pH	Potenciometría
Temperatura *(°C)	Termometría
Oxígeno disuelto *(mg/L)	Oximetría
Alcalinidad (mg/L)	Potenciometría
Cloruros (mg/L)	Argentometría
Dureza (mg/L)	Complexometría
Nitrógeno de nitritos	Espectrofotometría
Nitrógeno de nitratos	Espectrofotometría
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	Espectrofotometría
Sulfatos	Gravimetría
Fósforo de ortofosfatos	Espectrofotometría
Sólidos en suspensión	Gravimetría
Sólidos disueltos	Gravimetría
Sólidos totales 105°C (mg/L)	Secado en estufa
Sólidos Sedimentables 10' y 120'	Cono Imhof
Conductividad (µs)	Conductimetría
Residuo conductimétrico	Por cálculo
D.B.O. 5 muestra bruta (mg/L)	Incubación 5 días (20°C)
D.Q.O. en muestra bruta (mg/L)	Dicromatometría (ebullición)

\* Se determinaron in situ

La caracterización microbiológica comprende: coliformes totales y fecales. Se estudiaron y evaluaron los datos obtenidos, se seleccionaron los parámetros indispensables para el seguimiento en el tiempo y en base a ellos se determinó un indicador de calidad de

agua: INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA), con el objeto de establecer el grado de contaminación del cuerpo de agua.

#### 4. RESULTADOS

Si bien todos los parámetros son importantes, porque permiten conocer la naturaleza y el nivel de contaminación en la laguna y sus afluentes, se evaluaron en especial las variaciones de oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, DQO, DBO<sub>5</sub> y el análisis microbiológico.

Para cada uno de estos parámetros, se registraron en gráficas la concentración promedio de cada uno versus los distintos puntos de muestreo de la laguna.

##### 4.1 Oxígeno disuelto y nitrógeno amoniacal

El oxígeno disuelto y el nitrógeno amoniacal son indicadores del estado de salud del cuerpo de agua. Valores bajos de oxígeno disuelto indican contaminación, que perjudica el desarrollo de la vida animal. Para que un agua se considere poco contaminada la concentración de oxígeno debe ser al menos superior al 50 % del valor de saturación a esa presión y temperatura. Para 25 °C y al nivel del mar, el valor de saturación de oxígeno es de 8,3 ppm [10].

Las aguas superficiales, si están suficientemente aireadas, no deben contener normalmente amoníaco. La presencia de amoníaco libre o ión amonio es considerada como una prueba química de contaminación con líquidos cloacales. En los tramos de aguas abajo de las aglomeraciones humanas, donde se descargan líquidos cloacales, se encuentra siempre amoníaco, entre 12-50 mg/L [3].

En la Figura N° 5 se observa, que los puntos N° 2 y 4 presentan valores de oxígeno disuelto bajos y de nitrógeno amoniacal altos, que están indicando un importante grado de contaminación en ellos.

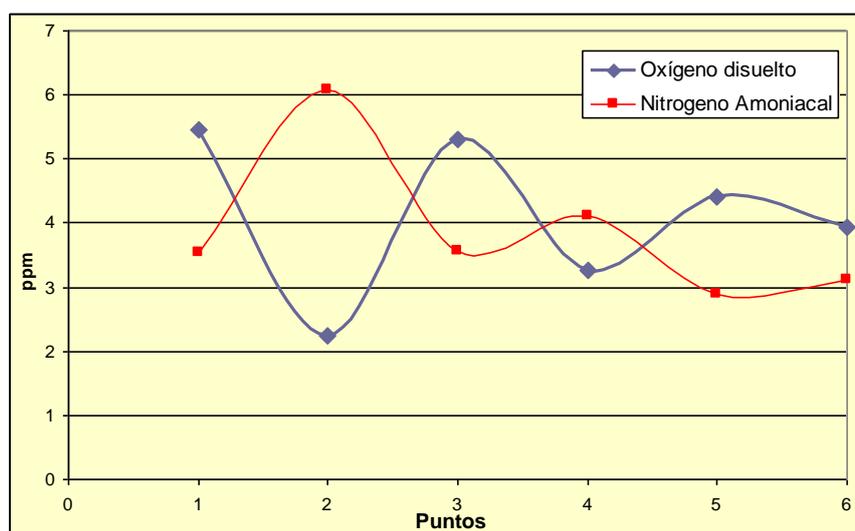


Figura 5 – Concentración de oxígeno disuelto y nitrógeno amoniacal en los distintos puntos de la laguna.

## 4.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO mide la cantidad de oxígeno consumido por la materia oxidable presente en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral, con un agente oxidante fuerte (dicromato de potasio).

En aguas no contaminadas los valores de DQO varían de 1 a 5 ppm [9], o algo superiores. Las aguas residuales domésticas no tratadas suelen contener entre 250 y 1000 ppm [8] y en las residuales industriales las concentraciones dependen del proceso de fabricación.

Los resultados obtenidos en las muestras de la laguna siempre han superado ampliamente las 5 ppm de DQO, con un promedio general para todos los puntos de 78 mg/L, lo que indica que el agua está contaminada.

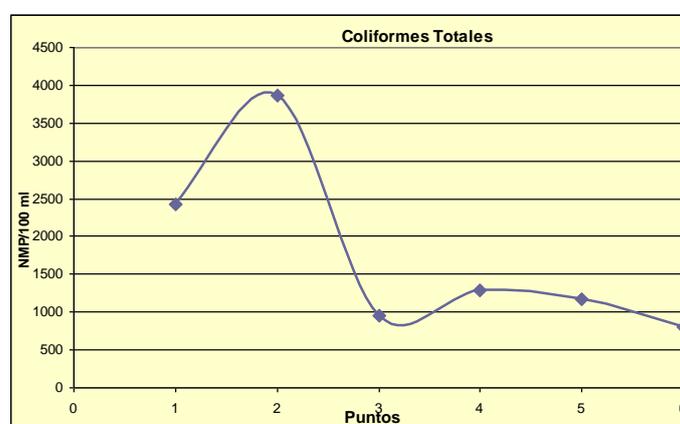


Figura 6 – Recuento de coliformes totales en los puntos del muestreo.

## 4.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

A través de esta medición se calcula la cantidad de oxígeno consumido en la degradación de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. Se ha utilizado la determinación de DBO a los cinco días (DBO<sub>5</sub>).

Valores superiores a 10 mg/l reflejan aguas muy contaminadas e inferiores a 3 mg/l corresponden a aguas limpias [4]. En las aguas residuales domésticas las concentraciones se sitúan entre 110 a 400 ppm [3], y en las industriales dependen del proceso de fabricación, pudiendo alcanzar varios miles de ppm.

Se observa, que la mayoría de las veces las DBO<sub>5</sub> son mayores que 3 ppm (valores entre 7 y 30 mg/L), lo que evidencia contaminación en el agua. La DBO<sub>5</sub> va disminuyendo cuando se avanza en los distintos puntos de la laguna indicando que se produce una depuración natural.

El aumento de la concentración de DBO<sub>5</sub> en los distintos puntos, coincide aproximadamente con la disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, determinadas in situ. Se evidencia que el punto 2 es el que presenta el mayor grado de contaminación.

Asimismo se observa que en la medida que disminuye la DBO<sub>5</sub>, también la concentración de nitrógeno amoniacal lo hace.

#### 4.4 Análisis microbiológico

La caracterización microbiológica comprende: coliformes totales y coliformes fecales. Las coliformes fecales son bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente o del hombre. Su presencia en el agua significa contaminación fecal. En la Figura 6 se muestran los promedios de los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de muestreo. Estos resultados indicarían que hay descargas cloacales en las proximidades de los puntos 1, 2 y 4.

#### 5 CALCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

El número de variables que pueden ser consideradas para evaluar la calidad o el grado de contaminación de las aguas es demasiado grande para que sea posible en la práctica, adquirir una idea clara de su comportamiento, sea en el ámbito geográfico o temporal [8] [10].

Análisis	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
pH	7,37	7,09	7,50	7,22	7,33	7,31
Conductividad (µs/cm)	691	699	693	667	686	682
Alcalinidad ppm CaCO <sub>3</sub>	182,6	220,9	187,6	187,1	173,8	168,5
Dureza ppm CaCO <sub>3</sub>	146,6	155,6	145,2	145,1	131,9	144,7
Fosfatos ppm	2,07	2,01	1,62	2,23	1,87	2,39
Nitratos ppm	19,23	20,75	26,43	23,88	20,56	22,56
Nitritos ppm	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,08
N Amoniacal ppm	3,54	6,07	3,56	4,11	2,89	3,11
Cloruros ppm	80,37	71,08	82,86	81,78	80,01	79,37
Sólidos Totales	543	602	551	512	474	422
Sólidos Disueltos	429	457	487	452	403	283
Materia en Suspensión	113,50	144,83	63,50	60,00	71,17	139,33
Coliformes Totales NMP/100 ml	2426	3863	948	1282	1169	808
Colif. Fecales NMP/100 ml	266	438	760	213	703	126
Turbiedad	113,3	114,0	77,8	62,8	51,3	54,1
DBO5 mgO/l	12,4	20,7	12,1	7,7	6,9	6,6
DQO mgO/l	84	84	79	75	84	64
O Disuelto (ppm)	5,45	2,25	5,30	3,26	4,42	3,92

Tabla 1

La finalidad que se pretende con el ICA, es deducir un número adimensional, como combinación o función de los datos analíticos de una muestra de agua, que refleje su calidad en orden a su utilización posterior, y que permita su comparación con los que se obtengan, por el mismo algoritmo, de otras muestras, tomadas en distintos lugares o épocas.

Para el cálculo se usaron los nueve parámetros básicos de aguas superficiales que son los siguientes:

- pH (en unidades de pH)
- Conductividad (a=1)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (a=1)
- Fosfatos (a=3)
- Materia en suspensión (a=1)
- Nitratos (a=3)

- Demanda química de Oxígeno (a=3)
- Coliformes totales (a=1)
- Oxígeno disuelto (a=1)

Se calcularon los Pi con la fórmula correspondiente. Los Qi se determinaron por representación gráfica usando los promedios de cada parámetro en los distintos puntos de muestreo. Se calculó el ICA obteniéndose los resultados de la Tabla 4.

Parámetros	ai	1/ai	Pi											
				Punto 1	Qi	Qi*Pi	Punto 2	Qi	Qi*Pi	Punto 3	Qi	Qi*Pi		
Coliformes totales	1	1,00	0,14	2426,2	3,72	0,53	3863,1	0,00	0,00	948,22	20,15	2,88		
pH	1	1,00	0,14	7,37	94,93	13,56	7,09	83,67	11,95	7,50	99,93	14,28		
D.B.O. en 5 días	1	1,00	0,14	12,37	24,19	3,46	20,73	11,72	1,67	12,05	24,89	3,56		
Nitratos	3	0,33	0,05	19,23	92,31	4,40	20,75	91,70	4,37	26,43	89,43	4,26		
Fosfatos	3	0,33	0,05	2,07	42,04	2,00	2,01	43,86	2,09	1,62	54,73	2,61		
Conductividad	1	1,00	0,14	691,42	64,69	9,24	699,00	64,08	9,15	692,92	64,57	9,22		
Materia en suspensión	1	1,00	0,14	113,50	62,89	8,98	144,83	55,48	7,93	63,50	85,11	12,16		
Oxígeno disuelto	1	1,00	0,14	5,45	66,00	9,43	2,25	23,28	3,33	5,30	64,05	9,15		
D.Q.O.	3	0,33	0,05	83,80	0,00	0,00	84,20	0,00	0,00	79,00	0,00	0,00		
<b>15      7</b>				<b>ICA PUNTO 1</b>			<b>51,60</b>	<b>ICA PUNTO 2</b>			<b>40,49</b>	<b>ICA PUNTO 3</b>		<b>58,11</b>

Tabla 2

Parámetros	ai	1/ai	Pi											
				Punto 4	Qi	Qi*Pi	Punto 5	Qi	Qi*Pi	Punto 6	Qi	Qi*Pi		
Coliformes totales	1	1,00	0,14	1282,66	14,87	2,12	1169,38	16,48	2,35	808,85	22,93	3,28		
pH	1	1,00	0,14	7,22	88,87	12,70	7,33	93,20	13,31	7,31	92,27	13,18		
D.B.O. en 5 días	1	1,00	0,14	7,72	37,41	5,34	6,90	40,66	5,81	6,58	42,07	6,01		
Nitratos	3	0,33	0,05	23,88	90,45	4,31	20,56	91,78	4,37	22,56	90,98	4,33		
Fosfatos	3	0,33	0,05	2,23	37,61	1,79	1,88	47,41	2,26	2,39	33,13	1,58		
Conductividad	1	1,00	0,14	667,08	66,63	9,52	685,92	65,13	9,30	681,92	65,45	9,35		
Materia en suspensión	1	1,00	0,14	60,00	86,67	12,38	71,17	81,70	11,67	139,33	56,48	8,07		
Oxígeno disuelto	1	1,00	0,14	3,26	36,75	5,25	4,42	52,27	7,47	3,92	45,65	6,52		
D.Q.O.	3	0,33	0,05	74,60	0,00	0,00	84,00	0,00	0,00	63,80	0,64	0,03		
<b>15      7</b>				<b>ICA PUNTO 4</b>			<b>53,41</b>	<b>ICA PUNTO 5</b>			<b>56,55</b>	<b>ICA PUNTO 6</b>		<b>52,35</b>

Tabla 3

El ICA puede variar entre 0 y 100 y define una serie de niveles de calidad que se establecen según los siguientes valores:

ICA	Calidad
100	Excelente
100- 85	Muy buena
85 – 75	Buena
75 – 60	Utilizable
60 – 50	Mala
Menor a 50	Pésima

Tabla 4: Valores de ICA Calidad del agua

Es conveniente también tener en cuenta, al trabajar con los índices de calidad, que si algún valor  $Q_i$  resultase *nulo* para un determinado parámetro, el agua es rechazable por ese solo concepto, aunque la media ponderada resultante pudiera tener un valor alto. En todos los puntos de muestreo el ICA indican calidad de agua mala o pésima.

## 6. CONCLUSIONES

- ✓ Los resultados analíticos confirman la contaminación de la laguna con aguas residuales domésticas.
- ✓ Las concentraciones de indicadores de contaminación como nitrógeno amoniacal y oxígeno disuelto, DQO y DBO<sub>5</sub>, y además la presencia de coliformes fecales en los puntos 2 y 4, señalan las zonas de mayor ingreso de líquidos cloacales.
- ✓ Si bien la contaminación según los parámetros indicadores está en niveles bajos se deben tomar medidas de saneamiento para preservar el cuerpo de agua.
- ✓ Como medida preventiva inicial se sugiere la eliminación de las conexiones clandestinas de aportes cloacales directamente a la laguna, lo que implicaría proveer de red cloacal a la zona.
- ✓ Si se eliminan las conexiones clandestinas es probable que disminuya la concentración de coliformes y también la DBO<sub>5</sub> y DQO mejorando el índice de calidad del agua. Una vez logrado este objetivo se podría usar el agua para riego, ya que según los criterios de salinidad de Richards [10] las conductividades medidas implican que el riesgo de salinidad del suelo es medio.

## REFERENCIAS

- [1] Brown PM, NI McClelland, RA Designer, RG Tozer, “A water quality index-do we dare?” *Water & Sewage*, 339(1970).
- [2] Standard Methods, APHA, AWWA, WPCF, Edición en español, Madrid, (1992).
- [3] Cap. 3, pag. 69. Ingeniería Sanitaria - Metcalf & Eddy - Segunda Edición. (1985).
- [4] [www.ambientum.com/revista/2004\\_04/INDICES\\_imprimir.htm](http://www.ambientum.com/revista/2004_04/INDICES_imprimir.htm)
- [5] Bianucci, S.P. “Polución de Ambientes Lacustres Vinculados a Centros Urbanos”, Informe de Avance. SGCYTUNNE; Departamento de Hidráulica-FI-UNNE, Resistencia, Argentina (2004).
- [6] Otaño, Silvia; Vera, Delia, “Plan de Recuperación Integral de Las Lagunas de Gran

- Resistencia”; SOPN;; Resistencia, Argentina, (2001).
- [7] Aguirre Madariaga, E. “Lagunas vs. Asentamientos”. Artículo. [www.ecoportal.net/content/view/full/2123](http://www.ecoportal.net/content/view/full/2123)
- [8] [www.mma.es](http://www.mma.es) . Índice de Calidad General (ICG).
- [9] [www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1800](http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1800).
- [10] Orozco Barrenetxea C. y otros. *Contaminación ambiental*. Cáp.7, Pág.281.. Edición (2008).

## **CUENCAS DEL ARROYO EL PESCADO Y DEL GATO EN LOS PARTIDOS DE LA PLATA, BERISSO Y ENSENADA**

**Bazán, José Manuel<sup>1\*</sup>; Alberino, Juan Carlos<sup>1</sup>; Varriano, Nicolás<sup>1</sup>; Cariello, Jorgelina<sup>1</sup>; Kruse, Eduardo<sup>2</sup>; Rojo, Adolfo<sup>2</sup>; Deluchi, Marta<sup>2</sup> y Laurencena, Patricia<sup>2</sup>**

1: Grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS) y el Grupo de Estudio del Trabajo y la Producción (GETyP)  
Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
60 y 124 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: ecass@frlp.utn.edu.ar, varriano@frlp.utn.edu.ar, cariello@frlp.utn.edu.ar

2: Cátedra de Hidrología  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
Universidad Nacional de La Plata  
64 y 120 N°3 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: kruse@fcnym.unlp.edu.ar, plauren@fcnym.unlp.edu.ar

**Palabras clave:** hidrología, arroyo El Pescado, arroyo Del Gato, indicadores de influencia

**Resumen.** *El conocimiento de las características químicas de las aguas subterráneas y superficiales en las cuencas de los arroyos El Pescado y Del Gato es irregular y parcializado, lo cual implica una gran incertidumbre cuando se desea conocer la calidad química actual de las aguas, como una base ambiental imprescindible no solo desde un punto de vista del abastecimiento sino también en relación a distintos emprendimientos productivos que se desarrollan en la región. La Cátedra de Hidrología General de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo tiene instalada una red de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales, realizando relevamientos periódicos en la región bajo estudio. El grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS) y el Grupo de Estudio del Trabajo y la Producción (GETyP) de la Facultad Regional La Plata cuentan con capacidad para realizar determinaciones fisicoquímicas en agua y sedimentos. Entre ambas facultades se lleva a cabo un programa de investigación relacionada con la hidroquímica de las cuencas y un control integral y continuo de la evolución de la calidad de agua para distintos usos. El objetivo general es actualizar el conocimiento fisicoquímico del agua subterránea y superficial de la cuenca del Arroyo El Pescado, lo mismo para la cuenca del Arroyo Del Gato, basados en información preliminar y actualizada. Como agregado del proyecto se espera establecer pautas de gestión que permitan el uso del recurso que tiendan a evitar su degradación. Se pretende que los resultados obtenidos se extrapolen a regiones de comportamientos similares.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El área estudiada se sitúa en el Noreste de la Provincia de Buenos Aires, donde se desarrollan las cuencas de los arroyos Del Gato y El Pescado (Figura 1) La región posee un clima templado húmedo, con una precipitación media anual de 1060 mm y una temperatura media de 16,5° C. El arroyo del Gato atraviesa el casco urbano de la ciudad de La Plata por el sector suroeste y desemboca en el Río de La Plata (mediante una canalización), mientras que El Pescado se ubica hacia el sureste de la ciudad. Ambas cuencas comparten un sector de divisorias.



Figura 1 Cuenca Arroyo El Pescado y Arroyo Del Gato

La cuenca superior del arroyo Del Gato se desarrolla en un área suburbana con baja densidad poblacional, donde prevalecen actividades primarias (horticultura y floricultura) y pocas industrias. En la cuenca media, hay un incremento significativo de la urbanización y de la densidad de población, además de un mayor número de industrias, actividades de servicios y barrios de viviendas precarias instalados próximos al cauce del arroyo. La cuenca inferior corresponde al tramo canalizado y con escasa población. La cuenca del arroyo El Pescado es un área rural, con escaso desarrollo de cultivos y actividad pecuaria.

En la primera cuenca citada, el medio natural se encuentra totalmente modificado, mientras que en los ámbitos rurales el ciclo hidrológico responde a patrones impuestos

predominantemente por el medio físico en sus condiciones naturales.

Los procesos de urbanización e industrialización suponen una fuerte influencia sobre el recurso agua de una región. Estas actividades afectan en forma directa al ciclo hidrológico ya que cambios en las redes de drenaje (canalizaciones, entubamientos, etc.), la impermeabilización de la superficie del terreno, las construcciones, la intensa explotación de las aguas subterráneas y vertidos hacia el agua superficial alteran los procesos de infiltración, escurrimiento, las condiciones del flujo y química del agua subterránea y superficial.

El objetivo en esta primera etapa es establecer una red monitoreo que permita actualizar el conocimiento fisicoquímico del agua subterránea y superficial de las cuencas de los arroyos El Pescado y Del Gato.

## **2. CARACTERISTICAS DEL AREA**

Los arroyos estudiados se desarrollan en un ambiente llano caracterizado por alturas comprendidas entre los 0 y 25 msnm, pendiente topográfica del orden de 0,1%, donde se pueden reconocer desde el punto de vista geomorfológico dos sectores, uno de ellos denominado Zona Interior y el otro Planicie Costera [1]. El primero comprende a la cuenca superior y media de los arroyos, extendiéndose entre 5 y 25 metros sobre el nivel del mar (msnm). En estos sectores los suelos son de buena calidad y bien drenados [2], predominando los procesos de infiltración. En la planicie costera las alturas están en un 90% por debajo de los 3 msnm y constituye un ámbito de descarga parcial del sistema subterráneo.

En el esquema hidrogeológico se consideran las unidades superiores que se encuentran en explotación en el área de estudio: Arenas Puelches y Sedimentos Pampeanos [3]. Estas unidades presentan una alternancia de secciones productivas separadas por sedimentos de menor permeabilidad que conforman un acuífero multiunitario. El nivel superior, denominado Pampeano está integrado por limos, y en forma subordinada por arenas y arcillas de color castaño rojizo, presentando con frecuencia concreciones o bancos de carbonato de calcio. Su espesor es del orden de 50 m y la transmisividad es de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>/día. Este nivel incluye a la capa freática, cuya profundidad, en condiciones naturales, varía entre 5 y 10 m. Por debajo del Pampeano se sitúan las Arenas Puelches que representan al acuífero más importante del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Se trata de una secuencia de arenas cuarzosas finas a medianas, con un tamaño de grano que aumenta en profundidad. El espesor es de aproximadamente 20 m y la transmisividad media de 500 m<sup>2</sup>/día.

## **3. METODOLOGIA DE LA PRIMERA ETAPA**

Se estableció un programa de monitoreo en el que se realizaron mediciones de profundidad del nivel freático y se tomaron muestras de agua para la realización de análisis químicos.

Los datos climatológicos se obtuvieron de la Estación Climatológica del Observatorio de la ciudad de La Plata.

Se determinó para la cuenca del Arroyo del Pescado realizar tres puntos de muestreo en aguas superficiales, uno en el sector medio, Estación de Ignacio Correas, el segundo sobre la ruta Provincial N°11 y el tercero sobre la ruta Provincial N°15 (continuación Av. Montevideo). En cuanto al muestreo en aguas subterráneas, se efectuó el muestreo y medición de niveles en quince perforaciones instalados en la cuenca que involucraran tanto al acuífero pampeano como el Puelche y tres freatómetros ubicados en la zona de Bavio (Ver Tabla 1 y 2).

Agua Superficial	
Arroyo El Pescado	Ubicación
<b>P1</b>	Ruta Prov.15 y A°
<b>P2</b>	Ruta 11 y A°
<b>P3</b>	Ignacio Correas

Tabla 1

Agua Subterránea			
Arroyo El Pescado	Coordenadas Gauss Kruger		Acuífero
	X	Y	
<b>P1</b>	6413204,1	6127873,4	Puelche
<b>P2</b>	6411823,8	6127322,7	Pampeano
<b>P3</b>	6408986,7	6128706,9	Puelche
<b>P4</b>	6406394,6	6128340,6	Pampeano
<b>P5</b>	6407550,0	6124650,0	Pampeano
<b>P6</b>	6411150,0	6122950,0	Pampeano
<b>P7</b>	6412450,0	6125000,0	Puelche
<b>P8</b>	6413900,0	6122500,0	Pampeano
<b>P9</b>	6419050,0	6119350,0	Pampeano
<b>P10</b>	6424075,0	6120400,0	Pampeano
<b>P11</b>	6421950,0	6118250,0	Pampeano
<b>P12</b>	6409475,0	6127300,0	Puelche
<b>P13</b>	6429950,0	6125500,0	Pampeano
<b>P14</b>	6426900,0	6131400,0	Puelche
<b>P15</b>	6424000,0	6132500,0	Pampeano

Tabla 2



Figura 2 Arroyo El Pescado (Ruta N° 11 y arroyo)

En la cuenca del Arroyo del Gato se hizo un muestreo de las aguas superficiales en cuatro puntos del arroyo, uno próximo al Hospital de Melchor Romero, en el sector de nacientes del arroyo, otro en el sector medio, el tercero en el último tramo antes de su canalización (7 y 514) y un cuarto en el sector de propulsora. Las aguas subterráneas se muestrearon en nueve frentímetros instalados en la cuenca y corresponden al acuífero pampeano (Ver Tabla 3 y 4).

Agua Superficial	
Arroyo Del Gato	Ubicación
<b>G1</b>	173 y 33
<b>G2</b>	137 y 526
<b>G3</b>	7 y 514
<b>G4</b>	Diagonal 74 y canal

Tabla 3

Arroyo Del Gato	Agua Subterránea		Acuífero
	Coordenadas Gauss Kruger		
	X	Y	
<b>G1</b>	6129600	6403500	Pampeano
<b>G2</b>	6130050	6404450	Pampeano
<b>G3</b>	6129400	6403800	Puelche
<b>G4</b>	6128500	6405700	Pampeano
<b>G5</b>	6133650	6406250	Pampeano
<b>G6</b>			Pampeano
<b>G7</b>	6132450	6406300	Pampeano
<b>G8</b>	6132050	6405800	Pampeano
<b>G9</b>	6131400	6406300	Pampeano

Tabla 4



Figura 3 Arroyo Del Gato (7 y 514)

Tanto las medidas de niveles como la toma de muestras de agua fueron realizadas en perforaciones particulares, bombas sapos, molinos, etc. El relevamiento de campo se realizó entre marzo y abril de 2011.

En campo se midió profundidad, temperatura y conductividad; tanto para aguas subterráneas como superficiales de ambas cuencas.

En laboratorio se determinó para aguas superficiales y subterráneas: dureza (calcio, magnesio), alcalinidad (carbonato, bicarbonato), sulfato, cloruros, nitratos, nitritos, arsénico, amonio, DQO, sólidos disueltos, fosfato, sílice, bromuro. Además se analizaron los siguientes metales: sodio, potasio, manganeso, hierro, cromo, cadmio, zinc, plomo, cobre.

Las muestras de laboratorio se realizaron en el laboratorio ECAASS (Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos), perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, bajo las normas SM 1992 [4].

#### **4. HIDRODINAMICA**

La región se caracteriza por su homogeneidad climática, de modo que no son esperables variaciones significativas en cuanto a la precipitación y temperatura. Los valores promedios de precipitación son similares para ambas cuencas y en la evolución temporal se observa una alternancia de períodos secos y húmedos. El Arroyo El Pescado presenta un carácter efluente con respecto a las aguas subterráneas en todo su recorrido. La recarga del nivel acuífero Puelche es autóctona indirecta a través del Pampeano mediante filtración vertical descendente, siendo la recarga de este último de origen meteórico. El análisis de las variaciones de los niveles freáticos muestra una estrecha vinculación con las variaciones temporales de las reservas de aguas subterráneas ante las oscilaciones de las precipitaciones. [5]. El rasgo morfológico llano favorece el predominio de los movimientos verticales del agua (infiltración- evapotranspiración) sobre los movimientos horizontales (escurrimientos) existiendo además una significativa interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas. La descarga subterránea local se produce en los arroyos de la cuenca y la regional en el Río de La Plata. En esta cuenca no existen explotaciones intensivas que extraigan agua subterránea del sistema. La cuenca del Arroyo del Gato presenta modificaciones en cuanto a los volúmenes y movimientos preferenciales del agua en el ciclo hidrológico, como así también en la interrelación agua superficial – agua subterránea. La existencia de zonas impermeabilizadas disminuye la disponibilidad de agua en el suelo para alimentar a la evapotranspiración real y por lo tanto se puede definir un incremento importante en los excesos de agua del balance hídrico que se traducen en incremento y aceleración en la respuesta del escurrimiento superficial, además de un aumento en la magnitud de los caudales en tormentas. Debe destacarse que el régimen actual del arroyo se caracteriza por presentar importantes crecidas de corta duración (1 ó 2 días), favorecidas por dicho escurrimiento desde la zona urbana. En este sector, el nivel acuífero Puelche está sometido a una sobreexplotación, lo cual ha generado un descenso de la superficie piezométrica con la formación de un cono de depresión cuya superficie supera los 70 km<sup>2</sup>. Dada la vinculación hidráulica existente esta profundización de niveles también afecta a la capa freática. La explotación de agua subterránea impone un régimen que depende principalmente de las variaciones en los volúmenes extraídos. La expansión de conos de depresión produjo la inversión de los gradientes hídricos naturales de los niveles freáticos. Como consecuencia de ello se ha modificado la relación natural entre el agua superficial y el agua subterránea, destacándose para las condiciones actuales en la cuenca alta y media, el carácter manifiestamente influente del curso con respecto a la capa freática.

#### **5. HIDROQUIMICA**

El agua subterránea de ambas cuencas presenta características bicarbonatadas sódicas, evolucionando a clorurada sódica hacia la zona de descarga.

El agua superficial también posee agua de características bicarbonatadas sódicas que pasan gradualmente a cloruradas sódicas, en algunas oportunidades pueden presentar alta turbiedad producto del transporte en suspensión de materia orgánica y arcillas.

La región se caracteriza por presentar una gran diferenciación hidroquímica entre la llanura interior y la planicie costera. En la llanura interior la salinidad varía entre 300 y 1700 mg/l mientras que en la planicie costera los tenores salinos pueden alcanzar los 8000 mg/l.

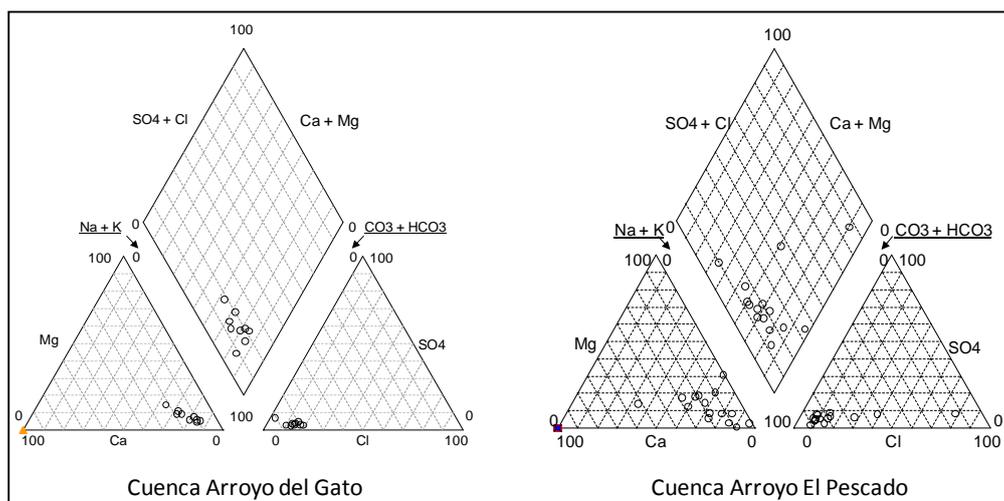


Figura 4: Gráficos Piper de los arroyos Del Gato y El Pescado

Parámetro	Cuenca Arroyo El Pescado			Cuenca arroyo Del Gato		
	Min	Max	Mediana	Min	Max	Mediana
pH	7.29	8.52	7.6	7	7.75	7.57
conductividad	622	5690	911	713	1404	933
Sol. disuelto	433	5328	565	442	870	578
cloruros	16	1480	26	7	71	46
alcalinidad	160	670	430	350	630	420
	Cuenca Arroyo El Pescado			Cuenca arroyo Del Gato		
sulfatos	3	216	24	9	26	15
dureza	16	500	152	80	204	15
calcio	3	85	38	22	48	27
magnesio	2	69	12	6	20	9
sodio	46	966	207	161	253	202
potasio	4	35	12	4	16	4
nitritos	<0.01	0.62	-	<0.01	0.02	-
nitrato	2	99	29	2	122	28
amoniac	--	--	< 0.05	<0.05	0.13	-
fosfatos	0.03	0.37	0.05	0.03	0.04	0.04
sílice	56	82	72	21	80	73

Tabla 5: Aguas subterráneas

## 6. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Se presentan los resultados de los análisis realizados tanto en aguas superficiales como subterráneas. (Tablas 5 y 6)

### 6.1 Agua subterránea y aguas superficiales

Los datos de los análisis obtenidos corresponden a un primer monitoreo a fin de obtener resultados preliminares, que serán comparados con nuevos monitoreos a realizarse en el marco del proyecto encarado. Los correspondientes a arsénico, bromuro y metales están en proceso de revisión y oportunamente se informará.

De la Tabla 5 y utilizando la mediana como parámetro estadístico de comparación, se observa que en las aguas subterráneas los resultados de los parámetros dureza y sulfato son mayores en la cuenca de El Pescado que la Del Gato. Así mismo existe una tendencia hacia una mayor concentración de cloruros en cuenca Del Gato. Con respecto a las aguas superficiales (Tabla 6) el pH y el oxígeno disuelto es mayor en El Pescado. Los nitritos, amonio y DQO (indicadores de potencial contaminación) presentan valores mayores en el arroyo Del Gato. Estos resultados son indicadores de la distinta influencia antrópicas en cada una de las cuencas monitoreadas.

Parámetro	Arroyo El Pescado			Arroyo Del Gato		
	Min	Max	Mediana	Min	Max	Mediana
pH	7.6	8.9	8.2	7.6	7.9	7.84
Oxígeno disuelto	4.8	6.9	6.2	1.4	7.2	3.05
conductividad	344	4300	836	850	1138	1023
Sol. disueltos	213	2666	518	527	706	635
alcalinidad	100	400	300	180	500	410
cloruros	23	976	65	59	78	71
nitritos	-	-	<0,01	2.25	3.64	3.00
amonio	0.19	0.27	0.19	0.18	1.96	1.00
DQO	42	156	52	45	75	59

Tabla 6: Aguas superficiales

## 7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el Arroyo El Pescado, indican una variación hidroquímica en el sentido de drenaje con un incremento regular de la salinidad. En esta cuenca se mantienen en forma general las condiciones naturales y las aguas subterráneas muestran condiciones aceptables para uso humano en la zona interior, mientras que debido al alto contenido salino en la planicie costera se transforma en no apta para la mayoría de los usos.

En la cuenca del Arroyo del Gato, como consecuencia de la urbanización (explotación de aguas subterráneas, desarrollo urbano, vertidos industriales y pluviales) la relación agua superficial – agua subterránea se ha modificado, produciéndose el aporte del agua del arroyo a la capa freática. Los vertidos industriales y pluviales son superiores a este aporte y por esa

razón el curso presenta agua en forma permanente. El agua superficial muestra un comportamiento irregular, no siendo posible fijar un patrón en su evolución hidroquímica. El agua freática en las proximidades del arroyo muestra la influencia de las características del agua superficial.

En esta etapa se presentan los primeros resultados que serán analizados y comparados con nuevos monitoreos que se realizarán periódicamente en el marco del proyecto encarado.

## REFERENCIAS

- [1] Fidalgo, F. y Martínez, R. “Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires”. *Revista Asociación Geológica Argentina*, XXXVIII (2), 263 - 279. Buenos Aires, (1983).
- [2] Giménez J.; Hurtado M.; Cabral M. y Da Silva M. “Estudio de suelos del Partido de La Plata”. Consejo Federal de Inversiones – Universidad Nacional de La Plata. Informe Final. La Plata, (1992)..
- [3] Sala, J. M. “Recursos Hídricos. Especial Mención de las Aguas Subterráneas”. *Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires*. V Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires. (1975).
- [4] APHA- AWWA-WPCF. “Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales” Ed. Díaz de Santos, S.A-Madrid. España. Traducción de la 17 Edition (1992).
- [5] Laurencena P.; Varela L. y E. Kruse. “Variación de la recarga subterránea. Cuenca Arroyo El Pescado (Provincia de Buenos Aires)”. *VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales*. Pág. 183 - 192. Santa Rosa. La Pampa (1999).

## CALIDAD DE AGUA DE RECREACIÓN DEL RÍO PARANÁ DE LAS PALMAS

Elorriaga, Marisol <sup>1</sup>; Varanese, Cristina <sup>2</sup> y Romano, Georgina Alejandra <sup>2</sup>

1: Laboratorio Químico - Centro de Investigación y Desarrollo en Energía y Ambiente.  
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta.  
San Martín 1171. Campana, Buenos Aires, Argentina.  
email: melorriaga@frd.utn.edu.ar

2: Laboratorio Químico - Centro de Investigación y Desarrollo en Energía y Ambiente.  
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta.  
San Martín 1171. Campana, Buenos Aires, Argentina.  
email: cvaranese@frd.utn.edu.ar; georginaromano88@gmail.com

**Palabras clave:** Río Paraná de Las Palmas, efluentes, agua de recreación, legislación

**Resumen:** *En la ciudad de Campana, el uso de del Río Paraná de Las Palmas para el desarrollo de diferentes actividades recreativas ocupa un lugar importante, resultando una oferta turística de notable valor.*

*El vuelco de contaminantes al río debido a industrias de la zona y las descargas de plantas de tratamiento de cloacales resulta un peligro para su calidad como aguas recreativas*

*El trabajo aborda: establecer el impacto de la carga de contaminantes debido a vuelco de efluentes industriales y cloacales y analizar la situación legal a nivel local, provincial y nacional para aguas de recreación.*

*Se realizó un relevamiento de la información de vuelcos industriales y cloacales, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, modelado de datos y plumas de contaminación.*

*Se utilizó el modelo matemático para evaluar, el impacto de descargas industriales y cloacales. El modelo indica que, en los primeros 50 a 100 m desde la costa, hay una mayor concentración de contaminantes, existiendo dos zonas de máximo impacto con un aumento local de los mismos pero con decaimiento suave aguas abajo.*

*Del análisis de normativas para aguas de recreación se concluye que existe un vacío legal, por lo cual se realizará una presentación del tema ante el Consejo Deliberante de la ciudad a fin de lograr su debate y remediar la falta de legislación mediante una ordenanza que exija el control de calidad de agua de recreación en los lugares que son, o puedan ser, utilizados para tal fin.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La creciente crisis hídrica mundial amenaza la seguridad, estabilidad y sostenibilidad ambiental de los países en desarrollo. El incremento de producción industrial y agropecuaria, registrado en el mundo, representa un aumento de líquidos descargados en cuerpos receptores y la adición de nuevos contaminantes.

En la Cuenca del Plata y en la subcuenca del Paraná el desarrollo antrópico ha sido intenso y ha tenido consecuencias para el ambiente con desafíos conocidos y problemas emergentes, por lo cual es de destacar la necesidad del estudio de impacto de efluentes vertidos en el

mismo, con la idea de poder identificar las causas de posibles contaminaciones y proponer un programa que permita preparar y llevar adelante soluciones.

La ciudad de Campana, cabecera del partido, se levanta sobre la margen derecha de uno de los brazos del Río Paraná de las Palmas. Cuenta con un alto grado de industrialización y niveles de urbanización, siendo una de las regiones del país con el mayor crecimiento poblacional. En el sector manufacturero se destaca la presencia de grandes establecimientos, predominando las industrias siderúrgicas, químicas y metalúrgicas. Cuenta además con varias instalaciones portuarias situadas sobre la margen derecha del Río Paraná, separadas entre si y distribuidas a lo largo de 5 km, frente a la ciudad y a sus importantes establecimientos industriales.

En este municipio, en el sector bonaerense del eje industrial Rosario-La Plata, se conjugan riesgos tanto de origen natural como tecnológico. El área está sujeta a periódicas inundaciones derivadas de la dinámica de los ríos Paraná y de La Plata, que afectan principalmente los sectores insulares y algunos barrios del casco urbano.

El establecimiento de puertos privados, de nuevas industrias y el aumento en la producción de las ya instaladas suponen un crecimiento de vertidos de efluentes tratados y sin tratar así como también la factibilidad de derrames en la zona de estudio.

Efectos contaminantes o de degradación y la probabilidad de ocurrencia de accidentes, pueden considerarse desastres cotidianos al influir en la calidad de vida de la población.

Lo expuesto anteriormente provoca en gran parte de la población una sensación de miedo e inseguridad con respecto a la calidad del agua del Río Paraná. Es por ello que es importante el estudio de la calidad del agua del Río, evaluando la evolución histórica de la misma, la situación presente y la proyección futura para desmitificar o no el temor que siente hoy día la población con respecto a la calidad de la misma.

## **2. OBJETIVOS**

Relevar información de industrias del Partido de Campana que vierten sus efluentes líquidos en el Río Paraná de Las Palmas, para determinar los contaminantes de criterio de acuerdo al vuelco de estas.

Relevar la información de los vuelcos cloacales en el Río Paraná de Las Palmas.

Evaluar la situación presente en términos de calidad de agua del Río Paraná de Las Palmas.

Aplicar modelos matemáticos de dispersión de contaminantes para simular las variaciones en los distintos vuelcos y su impacto en la calidad de las aguas.

Relevar los aspectos legales de agua de recreación a nivel municipal, provincial y nacional.

## **3. DESARROLLO**

### **3.1. Caracterización de efluentes**

Se presenta el desarrollo realizado para evaluar calidad y cantidad de vertidos desde las distintas empresa que han colaborado, en caso contrario se hicieron estimaciones a partir de información obtenida de otras fuentes.

Se utilizaron también datos bibliográficos de caracterización de efluentes según el rubro industrial y la Resolución N° 336/2003 del Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Provincia de Buenos Aires.

### 3.2. Fuentes industriales

#### 3.2.1. Industrias presentes en el área

La tabla 1 muestra las empresas situadas sobre la margen del Río Paraná de Las Palmas y las que, a través de arroyos tributarios, derivan sus efluentes al mismo, en la zona de estudio.

INDUSTRIA	RUBRO	DESTINO DEL EFLUENTE
CABOT [1]	Negro de humo (carbono industrial en forma de partículas)	Al Río Paraná
CARBOCLOR [2]	Solventes, oxigenados, alifáticos y aromáticos	Al Río Paraná
ESSO [3]	Petroquímica	Al Río Paraná
TENARIS- SIDERCA [4]	Siderúrgica	Al Río Paraná
PETROBRAS [5]	Fertilizantes	Al Arroyo del Potrero
PRAXAIR [6]	Gases medicinales y para laboratorios	Al Río Paraná
VALOT [7]	Papelera a partir de recortes y rezagos de papel y cartón	Al Río Paraná
MINETTI [8]	Cementera	Al Río Paraná
ARENERA MARIPASA	Arenera	Al Río Paraná
ARENERA CAMPANA	Arenera	Al Río Paraná
PTO. EUROAMÉRICA	Carga y descarga de frutos	Al Río Paraná
TAGSA	Puerto y acopio de sustancias químicas	Al Río Paraná

Tabla 1 – Descripción del destino del efluente



Figura 1 - Ubicación de plantas industriales.

Además, es importante destacar que existe un sistema de arroyos que escurren por zonas industriales y descargan al Paraná. Como se puede ver en la figura 2, tanto el Arroyo Pesquería como el Arroyo del Potrero se unen y forman el Arroyo de La Cruz, que desagua finalmente en el Río Paraná. De esta forma, las Plantas Depuradoras, Petrobras y Minetti tienen un mismo punto de vuelco en el Río Paraná, conformado por la descarga del mencionado Arroyo De La Cruz.

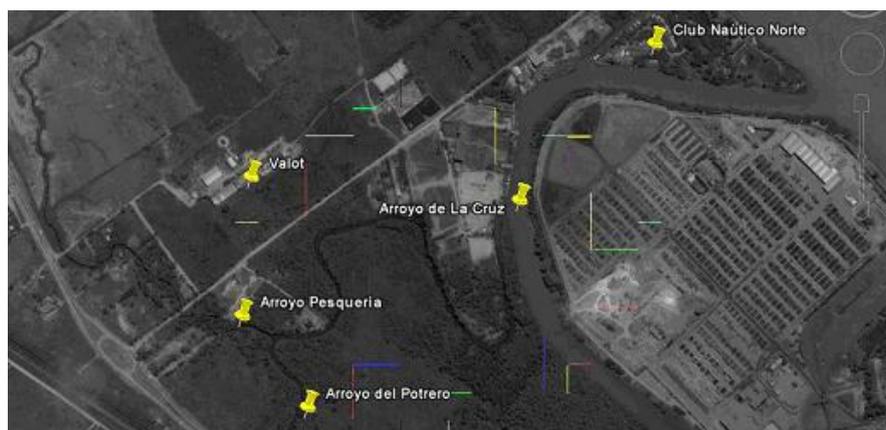


Figura 2 - Arroyos que desaguan al Paraná.

Se consideraron como parámetros de interés para esta investigación a los “contaminantes de criterio” que son aquellos para los que se han establecido límites para proteger la salud y bienestar humano [9].

### 3.3. Fuentes domiciliarias

#### 3.3.1. Población servida. Red cloacal en la ciudad de Campana

Según el censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda efectuado en el año 2001 la población del Partido de Campana era de 83698 habitantes, como se puede verse en la tabla 2.

POBLACIÓN	TOTAL	MUJERES	HOMBRES
Cantidad de habitantes	83.698	41.576	42.122
Participación en la Provincia (%)	0,6	0,6	0,6
Participación en el Resto de la Provincia (%)	1,6	1,7	1,6
Densidad (hab/ km <sup>2</sup> )	85,2		
GRUPOS DE EDAD			
0 – 14	28,8	29,4	28,3
15 – 64	62,8	63,4	62,4
65 y más	8,3	7,3	9,4

Tabla 2 – Fuente: DPE – INDEC Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. Elaboración: Dirección Provincial de Estadística

En cuanto al servicio sanitario se ha obtenido la siguiente información:

La distribución del servicio sanitario en el partido de Campana en el año 2001 es el siguiente:

Tipo de servicio	Población
Red cloacal	32463
Cámara séptica y pozo ciego	12415
Excavación en la tierra	11638
Sin inodoro ni descarga de agua	5367

Tabla 3 – Fuente: DPE – INDEC Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. Elaboración: Dirección Provincial de Estadística

### 3.3.2. Planta Depuradora I y Planta Depuradora II

La planta Depuradora I actualmente está trabajando al doble de su capacidad, por lo tanto solo la mitad del caudal que ingresa es tratado completamente. La otra mitad recibe un tratamiento parcial.

El caudal que proviene de camiones atmosféricos, solo recibe una cloración.

A partir de diversos cálculos se concluye que el caudal diario que es enviado a la cava, punto de vuelco de planta Depuradora I y atmosféricos es de 12700 m<sup>3</sup>/ día.

Esta planta trabaja con los efluentes de los barrios alejados del centro de la ciudad. El caudal tratado es de 2000 m<sup>3</sup>/día.

## 3.4. Modelo matemático

### 3.4.1. Descripción del modelo

En general, para predecir el destino y transformación de contaminantes en ríos, se utilizan modelos unidimensionales (1D) [10].

Ahora bien, el modelo 1D de calidad subestima el impacto relativo de los vertidos, pues presupone mezcla completa a lo ancho del río. Para el tramo del río bajo estudio, el cual presenta anchos del orden de los 500 metros y caudales del orden de los 4.000 m<sup>3</sup>/s, queda claro que la utilización de un modelo 1D no es adecuada. Por ejemplo, el vertido de cualquier planta de tratamiento de efluentes líquidos se realiza sobre la margen derecha del río, por lo que la pluma de contaminación resultante circulará concentrada sobre la línea de costa y no tendrá energía suficiente para mezclarse completamente a lo ancho del río.

Para determinar la importancia de este fenómeno, se utilizó un modelo bidimensional de calidad de aguas. El mismo está basado en la ecuación 2D de advección-difusión siguiente:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \kappa C \quad (1)$$

Donde  $C$  es la concentración de contaminante,  $t$  el tiempo,  $u$  la velocidad media del río,  $x$  la distancia a lo largo del río,  $y$  la distancia a lo ancho del río,  $D_L$  y  $D_T$  los coeficientes de difusión efectiva longitudinal y transversal, respectivamente, y  $\kappa$  la tasa de reacción del contaminante.

Bajo las siguientes hipótesis:

- El flujo en el río es uniforme (condición de flujo estacionario que responde a que los cambios fluviales en velocidad y tirante son pequeños durante el lapso de estudio).
- El río se puede representar mediante un canal prismático regular,
- Los vuelcos se realizan en forma puntual (dado que los caños de vertido son de dimensiones pequeñas frente al curso que recibe los efluentes).
- Los vertidos son continuos (lo cual corresponde con la actividad industrial de las empresas más importantes y en lo referido a descargas cloacales).

Una solución analítica para el modelo 2D de transporte de contaminantes en agua es:

$$C(x, y) = \frac{C_f \cdot q_f}{h \cdot \sqrt{\pi \cdot u \cdot D_T \cdot x}} \exp \left[ -\frac{y^2 \cdot u}{4 \cdot D_T \cdot x} - \kappa \frac{x}{u} \right] \quad (2)$$

Donde  $h$  es la profundidad local,  $C_f$  la concentración del contaminante en el vertido, y  $q_f$  el caudal del vertido.

Esta ecuación se puede aplicar sucesivamente para cada vertido, provisto un sistema en común y aplicando el principio de superposición. La hipótesis para este procedimiento es que no hay interacción del contaminante con el medio. Para el caso de DBO, esto es una aproximación. Esta ecuación, permite obtener los campos de concentración horizontales.

### 3.5. Implementación

#### 3.5.1 Morfología del río Paraná

El origen del modelo se ubicó en la progresiva fluvial km 103,5. A partir de este sitio, y se levantaron los datos de ancho y profundidad de margen derecha cada 500 metros de la Carta Náutica H-1004 del Río Paraná de Las Palmas desde el km 83,2 al km 105 (Dirección Nacional de Vías Navegables, año 2001, restitución aerofotogramétrica con apoyo 2001), Se trabajo con datos de algo más de 20 km de recorrido, definido como la zona de estudio.

#### 3.5.2 Datos utilizados en el modelo

Las concentraciones de las descargas,  $C_f$ , corresponden a parámetros de DBO y DQO promedios para las Plantas Depuradoras I y II, respectivamente.

Las concentraciones de las descargas,  $Q_f$ , fueron tomados de la tabla 4, para cada una de las empresas, y de los datos citados anteriormente para las plantas depuradoras.

La profundidad se consideró la correspondiente a la zona del margen derecho en función de  $x$ , dado que por el tipo de descarga, las plumas de los contaminantes se desarrollarán cerca de la costa.

Para determinar la velocidad media del Río Paraná, se evaluó previamente el caudal medio resultando  $5.456 \text{ m}^3/\text{s}^{[11]}$ . Como las secciones tienen forma cambiante, se usó un área media de  $5.000 \text{ m}^2$  y un factor de margen de 0,85 para considerar el menor caudal que fluye por el corredor de margen. Se obtiene entonces  $u = 0,93 \text{ m/s}$ .

El parámetro de difusividad transversal se calculó mediante:  $D_T = e_T \cdot h \cdot u^*$

Considerando los valores típicos para el río Paraná, y resultando  $D_T = 0,12 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Para las constantes de decaimiento por reacción se consideró, a partir de valores típicos:

$\kappa_{\text{DBO}} = 0,1 \text{ día}^{-1}$ ;  $\kappa_{\text{DQO}} = 0,05 \text{ día}^{-1}$ ;  $\kappa_{\text{SSEE}} = 0 \text{ día}^{-1}$  (conservativo)

INDUSTRIA	PARAMETROS DE INTERES, ANTES DEL TRATAMIENTO						Reducción por tratamiento			PARAMETROS DE INTERES, DESPUES DEL TRATAMIENTO					
	DBO		DQO		SSEE		DBO	DQO	SSEE	DBO		DQO		SSEE	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad				Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
CABOT							0 %	0 %	95 %	4	mg/l	31	mg/l	12,5	mg/l
CARBOCLOR							0 %	0 %	95 %	50	mg/l	154	mg/l	12,5	mg/l
ESSO	250	mg/l	600	mg/l	300	mg/l	70 %	80 %	80 %	50	mg/l	120	mg/l	50	mg/l
TENARIS - SIDERCA										50	mg/l	250	mg/l	50	mg/l
PETROBRAS	60	mg/l	180	mg/l	30	mg/l	95 %	95 %	NA	3	mg/l	9	mg/l	30	mg/l
VALOT	300	mg/l	250	mg/l	150	mg/l	95 %	95 %	70 %	15	mg/l	62,5	mg/l	45	mg/l
MINETTI	60	mg/l	200	mg/l						50	mg/l	200	mg/l	50	mg/l

Tabla 4 – Valores estimados de descarga antes y después del tratamiento y reducción por tratamiento

INDUSTRIA	CAUDAL		PLANTA DE TRATAMIENTO	CONTAMINANTES DE CRITERIO
	Valor	Unidad		
CABOT	417000	m <sup>3</sup> /año	Planta de separación de sólidos	Aceites, negro de humo
CARBOCLOR	2160000	m <sup>3</sup> /año	Acidez e hidrocarburos	Hidrocarburos sobrenadantes Aceites flotantes
ESSO	4608000	m <sup>3</sup> /año	Desalador (fenol a crudo), tratamiento con peróxido, planta de separación de finos, tanque equalizador, separador API	Hidrocarburos y fenoles, según encuesta
TENARIS - SIDERCA	3960000	m <sup>3</sup> /año		Grasas con metales pesados, cromo, plomo, H <sub>2</sub> S, escoria
PETROBRAS	279000	m <sup>3</sup> /año	Strippeo de líquidos, luego lagunas estabilizadoras naturales	Nitrógeno, urea
PRAXAIR	6570	m <sup>3</sup> /año		
VALOT	302400	m <sup>3</sup> /año	Tratamiento primario, laguna aireada y una laguna no aireada	Restos de fibras en suspensión, y de cargas de papel en suspensión
MINETTI	3153,6	m <sup>3</sup> /año	No posee, solo planta de tratamiento de cloacales	

Tabla 5 – Caudal de efluentes, descripción de planta de tratamiento y contaminantes de criterio de cada una de las empresas

La Planta Depuradora I como la Planta Depuradora II, descargan sus efluentes al Arroyo del Potrero. Las descargas de Minetti y Petrobras, también van al Arroyo de la Cruz.

Como simplificación del modelo, se consideraron las cuatro descargas al Arroyo (Minetti, Petrobras y las dos Plantas Depuradoras) como puntuales directamente en el Río Paraná.

Como condición de borde aguas arriba, y ante la falta de datos actualizados de calidad de aguas en la zona de Zárate, se consideraron concentraciones nulas para los 3 contaminantes. Por ello, los resultados presentados a continuación deben ser considerados como “sobre-concentraciones”.

#### 4. RESULTADOS

Con los datos utilizados, la ubicación de las empresas y las consideraciones antes mencionadas acerca de las descargas al Arroyo de la Cruz, se obtuvo en forma independiente el efecto industrial y el de cloacales.

En los gráficos siguientes se muestra la concentración del parámetro en función de la progresiva a lo largo del río y a cinco distancias desde la margen derecha: 0 m (costa), 25, 50, 100 y 500 metros.

##### 4.1. Efecto industrial

Para el parámetro DQO simulado, la figura 3 presenta los resultados del modelo matemático considerando únicamente los vuelcos industriales.

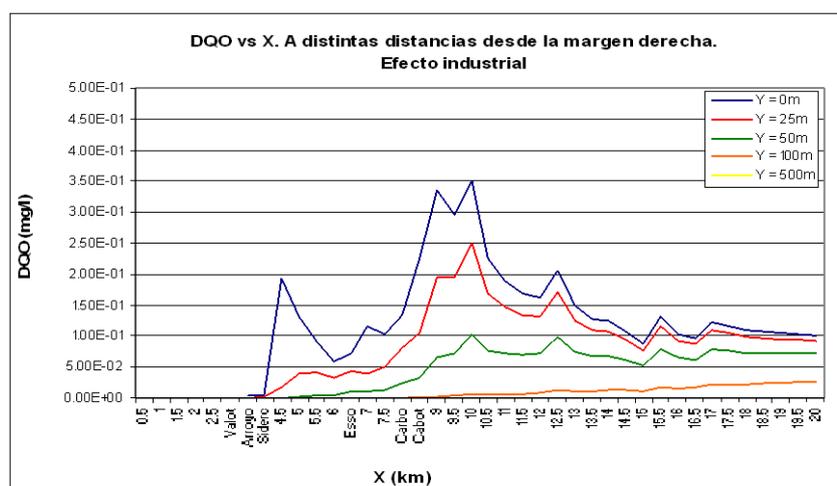


Figura 3 – Distribución de DQO, Efecto industrial

#### 4.2. Efecto Cloacal

Para los vertidos cloacales se modelan de datos de DQO. La figura 4 presenta los resultados obtenidos. Se aprecia claramente el efecto dominante del vertido del Arroyo del Potrero.

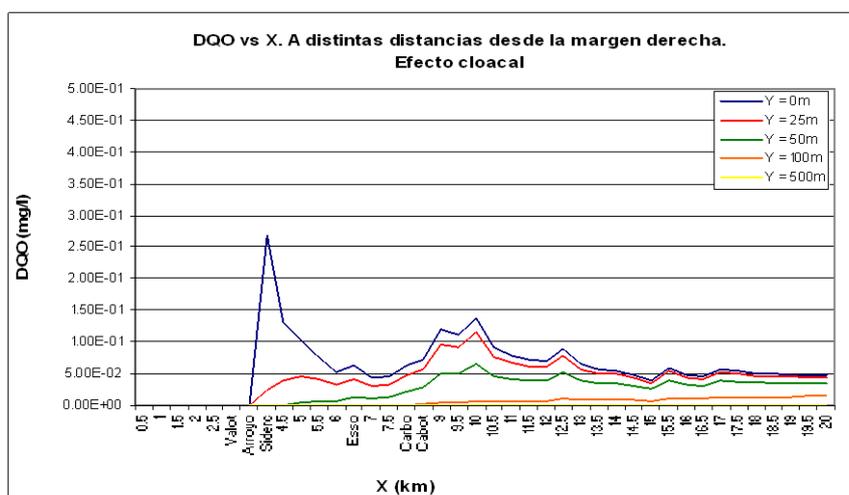


Figura 4 – Distribución de DQO, Efecto cloacal

Para los vertidos cloacales se modelan de datos de DQO. La figura 4 presenta los resultados obtenidos. Se aprecia claramente el efecto dominante del vertido del Arroyo del Potrero.

#### 2.3. Efecto Total

La superposición de los efectos industriales y cloacales produce las salidas del modelo presentadas a continuación.

Se puede observar que quedan definidas 2 zonas donde los impactos son mayores: el vuelco del arroyo Potrero, y la zona de vuelcos alrededor del km 10.

Resulta importante remarcar que, si bien los niveles de concentración observados con el modelo son bajos, luego del recorrido de 20 km la contaminación no ha disminuido considerablemente. Esto es, existe una tendencia a transportar la carga contaminante más allá de la zona de estudio, con potenciales impactos sobre zonas aguas debajo de Campana.

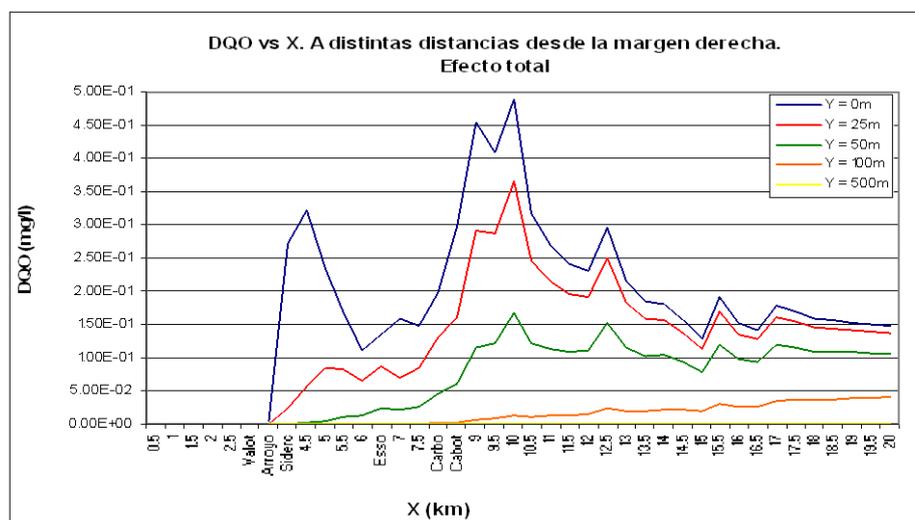


Figura 5 – Distribución de DQO, Efecto total

## 5. ASPECTOS LEGALES

En las ciudades de Campana y Zárate, ubicadas ambas a orillas del Río Paraná de Las Palmas, el uso del agua para el desarrollo de diferentes actividades recreativas ocupa un lugar importante, resultando una oferta turística de notable valor.

Como se estudio, existen vuelcos contaminantes sobre este río en distintos puntos de su recorrido entre el tramo Zárate- Campana, que es la zona de estudio de este proyecto.

Las denominadas "normas internacionales" para aguas recreacionales (en el sentido de que sean aplicables a todos los balnearios del mundo) no son tales, ni siquiera son seguidas por países que tiene agua sujetos a descargas puntuales de efluentes cloacales; no son válidas, por ejemplo para un nivel de desarrollo similar. Las mismas fueron establecidas para cuerpos de ambientes sujetos a fuentes dispersas. Estas fuentes también pueden representar un riesgo para la salud, pero no hay todavía investigaciones específicas (con respecto a la aplicabilidad de esos estándares), quizás debido a la dificultad del control y seguimiento de este tipo de aporte. En nuestro país tampoco se ha desarrollado un criterio propio (nacional o regional), habiéndose adoptado el de otros países. A pesar de que, en las mismas directivas de la Comunidad Económica Europea se aclara que no deben aplicarse en otros países sin haber realizado estudios específicos

De acuerdo a lo investigado en las Secretarías de Turismo y Medio Ambiente de de Zárate y Campana la reglamentación que se utiliza para habilitar campings, balnearios, clubes y recreos es la ley 13531 que es de habilitación de las instalaciones, pero nada dice del uso del agua de río como recreación, es por ello que se hizo una presentación en la Banca Abierta y Participativa del Consejo Deliberante de la ciudad de Campana con las siguientes propuestas:

- Realizar estudios de calidad de agua del Río Paraná para establecer límites de calidad de agua de recreación tanto en el aspecto fisicoquímico como en el bacteriológico.

- Determinar concentraciones máximas de indicadores de contaminación en aguas recreativas, para poder aplicar un criterio de calidad bacteriológica.
- Relacionar estas concentraciones máximas con los distintos factores ambientales que afecten la relación entre el indicador, la exposición y la posibilidad de contraer enfermedades, como así también las características del medio acuático como la velocidad de la corriente, caudal, posibilidad de sedimentación, ancho, profundidad, etc.
- Establecer límites de calidad de agua de recreación con contacto directo, utilizando los ítems anteriormente mencionados.
- Cubrir las áreas de vacancia en cuanto a lo legal, tratando de establecer una reglamentación que exija realizar estudios de calidad de agua de recreación, en los lugares que son, o puedan ser utilizados, para tal fin pudiendo establecer cartelería que así lo indiquen, como se realiza en otros países.

## 6. CONCLUSIONES

Se cumplió el primer objetivo, consistente en la recopilación de datos históricos y recientes para caracterizar la situación ambiental de las aguas del Río Paraná de las Palmas a la altura del tramo Campana.

A los datos históricos y bibliográficos existentes, se le sumó información nueva, generada en este trabajo, a partir de encuestas a industrias y servicios de tratamiento cloacal, análisis de la actividad de cada rubro industrial para determinar cargas típicas de contaminantes en efluentes líquidos y caudales, siendo hoy en día la única información disponible sobre descargas industriales y cloacales que recibe el río Paraná de Las Palmas en el tramo Campana.

Se evaluó el vertido de cargas por rubro industrial y para 3 contaminantes, presentándose solo el gráfico de DQO pudiéndose realizar comparaciones entre rubros y actividades. Se destaca el aporte principal de 2 ó 3 industrias y el de las plantas de tratamiento cloacal de la ciudad de Campana.

También se analizó el tipo de modelo matemático que se adecuaba a los datos disponibles, resolviéndose utilizar en esta etapa un modelo 2D para flujo continuo.

Se realizaron análisis diversos de datos para alimentar el modelo matemático, y se implementó una versión operativa que incluye la totalidad de los vertidos detectados.

Se utilizó el modelo para evaluar, independientemente, el impacto de las descargas industriales y las cloacales. Los valores obtenidos para las concentraciones en el río resultaron bajos y admisibles desde el punto de vista de la calidad de las aguas.

El modelo permite observar con detalle 2 zonas de máximo impacto, asociadas a los vuelcos del arroyo el Potrero y en el km 10 (progresiva local) y que en la zona de estudio, el impacto se concentra en los primeros 50 a 100 metros desde la costa.

También, se predice un aumento local de concentraciones en estas zonas, pero un decaimiento suave aguas abajo, trasladándose potencialmente el impacto más allá de la zona estudiada.

En cuanto al aspecto legal vemos que existe un vacío tanto a nivel nacional como provincial y municipal en lo que respecta a agua de recreación; para solucionar este problema efectuó la presentación en el Consejo Deliberante con la propuesta de establecer una ordenanza municipal que establezca una periodicidad de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del Río Paraná para poder ser utilizada como agua de recreación y poder especificarlo con cartelería que así lo indique.

### **Organismos consultados**

- Municipalidad de Campana
- Subsecretaría de Medio Ambiente Campana
- Dirección de la Producción Campana
- Dirección de Control de los Servicios Sanitarios Campana
- Instituto Nacional del agua

### **Industrias consultadas mediante encuesta**

- ESSO SAPA
- Cabot
- Carboclor

### **REFERENCIAS**

- [1] Cabot 2011, disponible en : <http://w1.cabot-corp.com/index.jsp>
- [2] Carboclor 2011, disponible en: <http://www.carboclor.com.ar>
- [3] Esso 2011, disponible en: <http://www.esso.com.ar>
- [4] Tenaris 2011, disponible en: <http://www.tenaris.com>
- [5] Petrobras 2011, disponible en: <http://www.petrobras.com.ar>
- [6] Praxair 2011, disponible en: <http://www.praxair.com/sa/ar/arg.nsf>
- [7] Minetti 2011, disponible en: <http://www.grupominetti.com>
- [8] Valot 2011, disponible en: <http://www.valot.com.ar>
- [9] APHA - AWWA - WPCF, "Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater" (1989) 17th Edition
- [10] Tarela, P.A., van Avermaete, F., Calamante, A., Perone, E., Kuriyagawa, M. y Hirai, R., Diseño ambiental del emisario submarino de la ciudad de Río Gallegos, XX° Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, 10-13 mayo, Mendoza (2005)
- [11] J. Borús, M. Uriburu Quirno y D. Calvo, Evaluación de caudales diarios descargados por los grandes ríos del sistema del plata al estuario del Río de la Plata", Alerta Hidrológico - Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Argentina



## RIEGO ALTERNATIVO CON AGUA RESIDUAL PARA FLORES

Moya, N. S.\*; Neme, N.; Murillo, M. D.; Gianinetto, E. F. y Vega Caro, L.

Centro de Investigación en Ingeniería Ambiental - CEDIA  
Facultad Regional Tucumán  
Rivadavia 1050

e-mail: [susana\\_moya2004@yahoo.com.ar](mailto:susana_moya2004@yahoo.com.ar); [nemenadim@hotmail.com.ar](mailto:nemenadim@hotmail.com.ar); [emm@tucbbs.com.ar](mailto:emm@tucbbs.com.ar)

**Palabras clave:** Agua Residual, Riego, Flores

### RESUMEN

*Al tener Tucumán una variedad de climas y extensiones de suelos fértiles se puede ahorrar el uso de agua potable para riego, utilizando agua residual semitratada. Los principales cultivos en nuestra provincia es la caña de azúcar y citrus. Donde la diversificación entre otros cultivos puede ser el cultivo de flores ornamentales para abastecimiento del mercado local. A las mismas se la importa de otros países como ser Chile y Colombia. El país principal productor agrícola de exportación en flores es Holanda. En España, Portugal e Italia actualmente cultivan flores con agua residual. Con este procedimiento se pretende efectuar un aporte con la intención de disminuir la contaminación de los ríos y lagos con las aguas residuales contaminadas no tratadas de las ciudades. Este trabajo tiene como objetivo observar el comportamiento y desarrollo de las plantas ornamentales frente a distintas diluciones de agua residual cloacal tratada en el riego. Los parámetros a ser estudiados son el color; tamaño de las hojas; plantas y tallos; altura; color y tamaño de flores. Asimismo encontrar las diluciones apropiadas y que proveen mejor rendimiento, para bajar la concentración de la DBO y la concentración de otras sustancias nociva para el cultivo. Se han preparado soluciones con agua residuales al 100%, 75%, 50% y 25%, para disminuir la DBO y la concentración de sustancias nocivas.*

### 1. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1.1 Agua residual cloacal

El agua residual cloacal se obtiene de una planta que se encuentra ubicada en Av. Circunvalación de autopista, zona noreste de la localidad San Ramón y a 200 m. del Canal Norte, en San Miguel de Tucumán frente al Cementerio “El Ángel”. Esta planta provee servicio de tratamiento de agua a un Barrio denominado Señaleros” de 1.200 habitantes con un caudal de 24 m<sup>3</sup>/h y volumen bombeado de efluente de 5.495 m<sup>3</sup>/mes. Funciona las 24 horas del día y los 365 días del año. El sistema usado por la planta de tratamiento tiene tratamiento primario y secundario y consta de los siguientes elementos constitutivos: Un sistema de rejillas electromecánicas para desbaste compuesto por: Cámara de bombeo Tanque Sedimentador, Cámara de purga de lodo, Playa de secado. La muestra se recoge en bidones de 5 y 10 litros. Se agrega a los bidones agua de cloro marca Castillo en proporción de 10 ml/litro para proteger al personal de una posible infección. El OD en la descarga final es de 54

mg/l y la DBO aproximadamente de 150 mg/l. Tiene 2/litros huevos de helmintos (Trichiuris – Trichiuris), que de acuerdo a lo establecido por las normas de Engelberg no es apta para el riego irrestricto de cultivo, temperatura 18°, PH 7,8, sólidos totales: 0,271 mg/l, s. Fijo: 0,185 mg/l -> inorgánico sólidos volátiles. : 0,086 mg/l -> orgánico).

## **1.2 Agua Potable**

Se ha utilizado el agua de bebida de la *Facultad Regional Tucumán*, de la canilla que se encuentra a la entrada del taller.

## **1.3 Semillas**

Se ha Seleccionado de acuerdo a la estación y clima de la ciudad de San Miguel de Tucumán y valor comercial de la flor. Su adquisición fue en semillera “Río Negro”, porque se la considera como la más importante de la ciudad fundada en 1936. Las semillas vienen con control de calidad y envases para su perfecta conservación. El tipo de siembra utilizado es al boleto para almacigo. Los cultivos seleccionados para el ensayo fueron: alegría del hogar, caléndula, siempre viva y zinnia.

## **1.4 Tierra**

La tierra fue adquirida en un vivero y preparada para plantación de flores. Se realizaron ensayos de granulometría y permeabilidad, en el Laboratorio de Suelo perteneciente al Departamento Civil de nuestra Facultad, cuya realización fue al inicio y finalización de cada ensayo. Se determinó pH del suelo regado con agua potable dando un valor de 6,9. Asimismo se determinó pH de suelo regado con agua residual tratada dando un valor de 7,15. Otro parámetro determinado fue la temperatura de la tierra a los 5 cm y 10 cm del nivel superior de la tierra de la maceta, obteniéndose 1°C más que la temperatura ambiente.

## **1.5 Vivero -huerta de experimentación**

Las tareas de acondicionamiento del vivero se inician en diciembre. Se agregan bolsas de tierra de 2500 gramos cada una para ocupar una altura de 17 cm. En ocho macetas diferentes y se tomaron muestras para suelo. *Ver Fig. 1 “Esquema de Maceta”*. El vivero se encuentra ubicado en la terraza del primer piso de nuestra Facultad. Las dimensiones del mismo son: Largo: 3 metros; Altura: 2 metros; Ancho: 1,50 metros. Se apoya en una pared, tanto las paredes de frente, costado y techo se encuentran cubiertas de plástico específico para tal fin. Se han dispuesto en total 8 (ocho) macetas de las cuales 4 (cuatro) son testigos (riego con agua potable) y 4 (cuatro) son problemas (riego con agua residual). La cantidad de macetas se encuentra relacionada con la variedad de siembra.

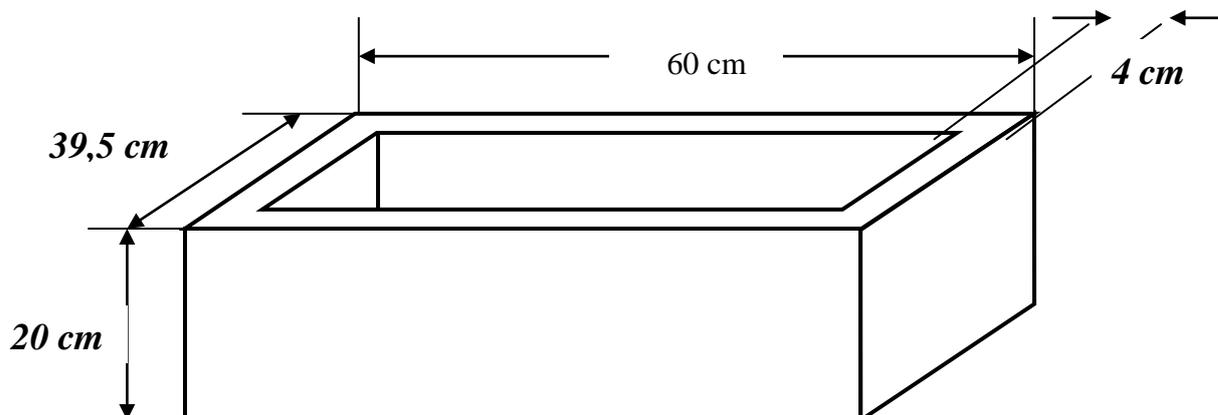


Fig. 1 – Esquema de Maceta

Son de cerámica con orificios de drenaje en la parte inferior. Tomando en consideración la superficie de cada maceta y la cantidad de las mismas, se ha determinado que la superficie a regar por maceta es de  $0,1638 \text{ m}^2$ , siendo una superficie total de  $1.3104 \text{ m}^2$ .

### 1.6 Sistema de riego

En una primera experimentación del ensayo se utilizó un sistema de riego casero consistente en un tirante metálico colgado del techo con botellas plásticas cerradas con tapa de corcho que al ponerla boca abajo permite el goteo del agua para riego. Se ha determinado que el sistema de riego es manual, luego de haber estudiado otras alternativas como el goteo y por aspersión. Es de construcción casera consistente en un tacho de 10 (diez) litros que se le adosa una canilla en la parte inferior y un caño de P.V.C. Ver Fig. 2 “Esquema de Riego con Agua Potable” y 3 “Esquema de Riego con Agua Residual Tratada” teniendo para cada maceta un dispositivo de aspersión de agua regulable. Los ensayos de riego se realizaron con aguas residuales al 100%, 75%, 50% y 25%.

### 1.7 Laboratorio

Los equipos de laboratorio utilizados han sido: Estufa de esterilización y cultivo, Microscopio óptico, Balanza electrónica, Heladera y Heladera DBO, Mufla, Cajas de porcelana y de Petri, Baño María, Peachimetro, Material de Vidrio y otros. Los Métodos o Ensayos realizados son: Estudio Parasitológico usando el Método de Enriquecimiento de Barthelemy Modificado. Estudio de DBO. Determinación de pH de Agua y Suelo. Sólidos Totales, Fijos y Volátiles en Agua Residual. Prueba de Germinación. El lugar de realización del trabajo fue en el laboratorio del *CEDIA* y huerta de experimentación de la *FRT-UTN*.

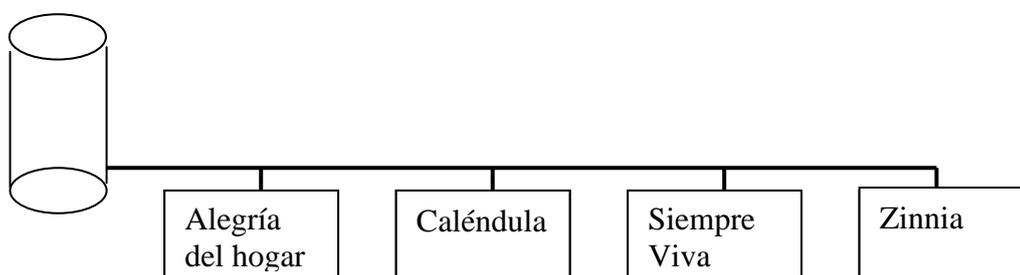


Fig. 2 – Esquema de Riego con Agua Potable.

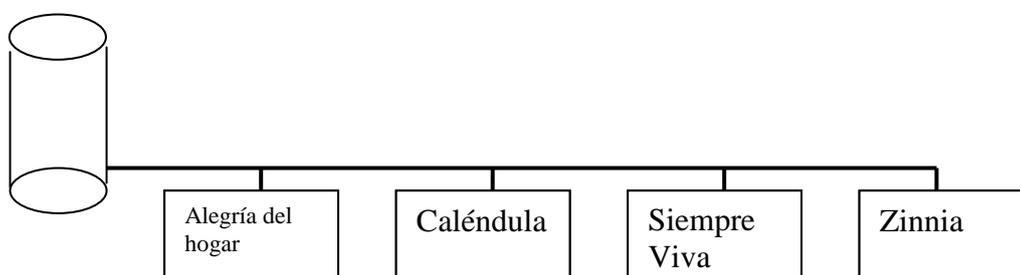


Fig. 3 – Esquema de Riego con Agua Residual Tratada

### 1.8 Parámetros de control del agua residual para el ensayo

Los análisis del agua residual en valores promedios son: DBO de 150 mg/l; OD de 5,4 mg/l; Tiene 2 huevos/litro de helmintos (*Trichiuris – Trichiuris*), que de acuerdo a lo establecido por las normas de Engelberh no es apta para el riego irrestricto de cultivo; Temperatura 18°; PH 7,8; 7,30 en dilución; Sólidos totales: 0,271 mg/l; Sólidos Fijo: 0,185 mg/l; Sólidos volátiles: 0,086 mg/l; Alcalinidad: 356,50 mg/l; Dureza: 574 mg/l; Cloruros: 195 mg/l; Sulfatos: 209,25 mg/l.

### 1.9. Parámetros de control para la observación del comportamiento de las plantas

Se ha establecido los parámetros de control en desarrollo de las plantas, altura de los tallos, tamaños de las hojas, color de las hojas, flores y número de hojas.

## 2. RESULTADOS

### 2.1 Análisis de muestra - muestra punto de entrada

Los análisis de las muestras del agua residual se captaron en el punto de entrada de la planta de tratamiento y los valores muestreados corresponden a los 4 (cuatro) meses en que se realizó el ensayo. El valor promedio de PH ha sido de 7,60. Ver Fig. 4 “Valores de PH”. Para DBO se obtuvo 171,00 (mg/l). Ver Fig. 5 “Valores de DBO”.

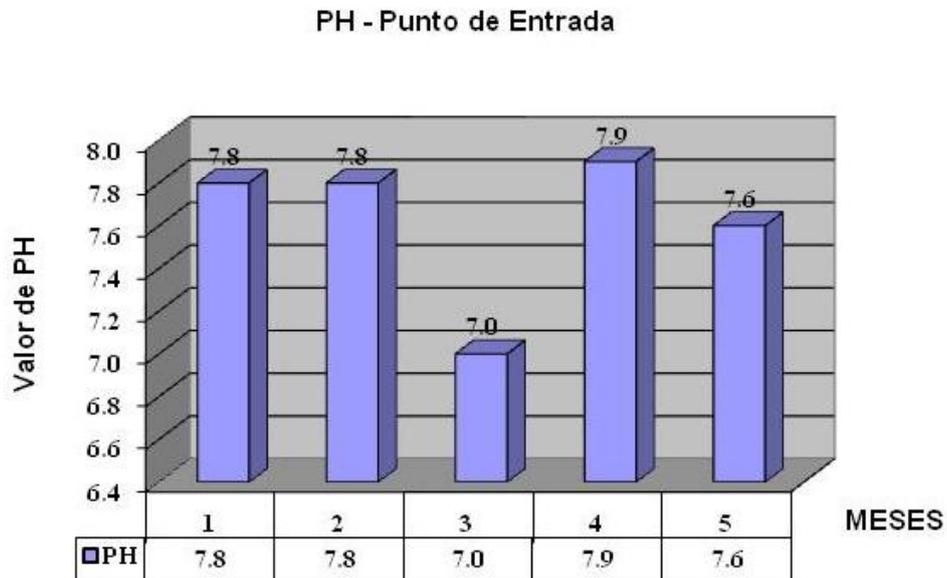


Fig. 4 - Valores de PH

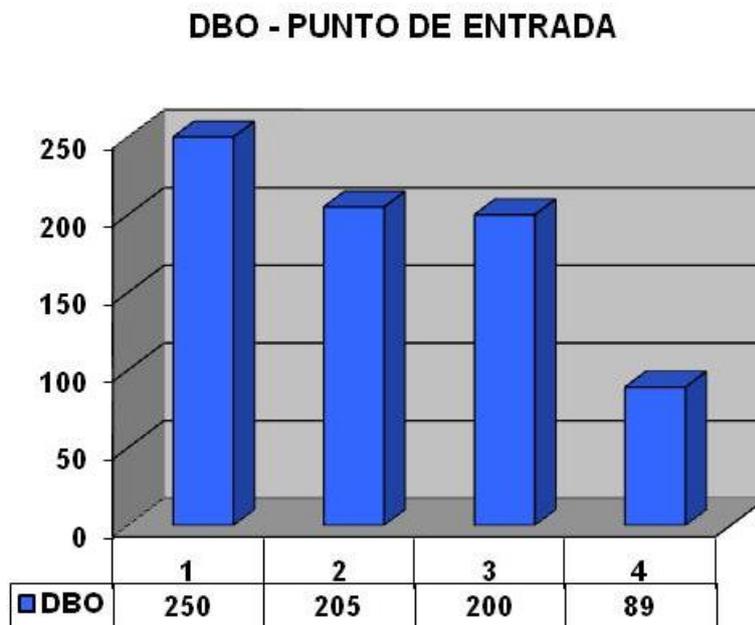


Fig. 5 – Valores de DBO

El valor promedio de OD fue de 1(mg/l). Ver Fig. 6 “Valores de OD”. Para alcalinidad el valor promedio ha sido de 356,50 (mg/l). Ver Fig. 7 “Valores de Alcalinidad”. El valor promedio de la dureza del agua obtenido es de 226,00 (mg/l). Ver Fig. 8 “Valores de Dureza”. Para cloruros se obtuvo 195,00 (mg/l). Ver Fig. 9 “Valores de Cloruros”.

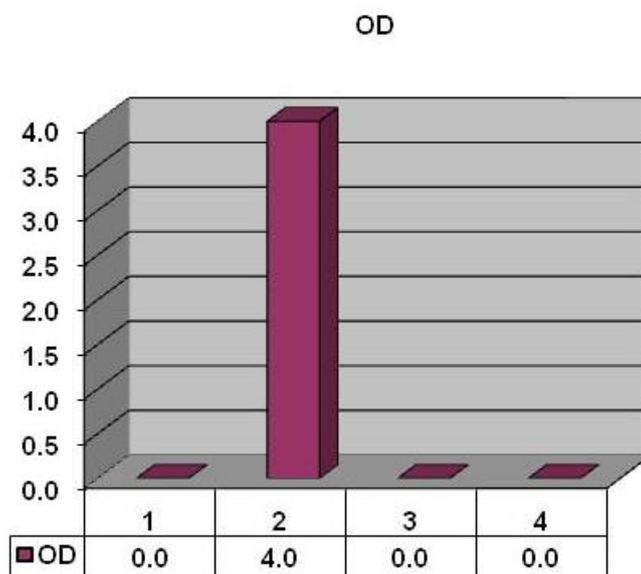


Fig. 6 - Valores de OD

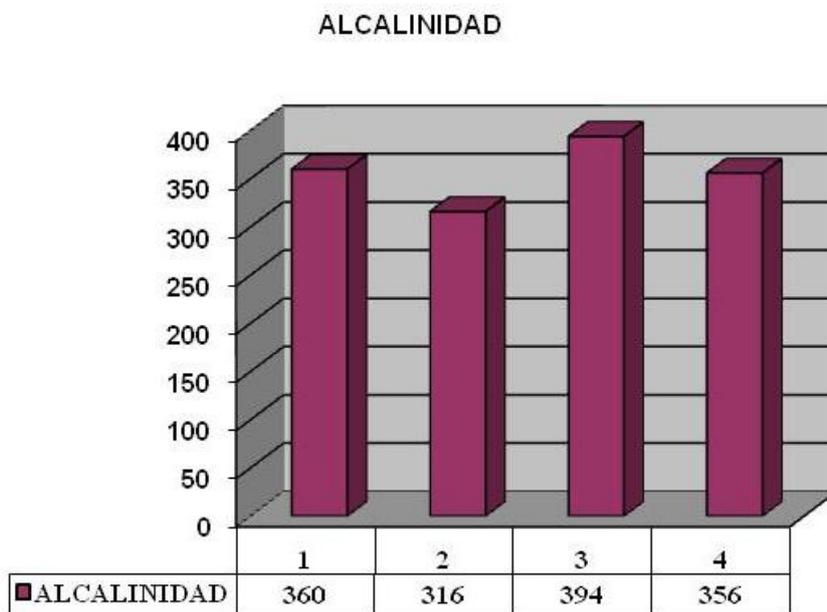


Fig. 7- Valores de Alcalinidad

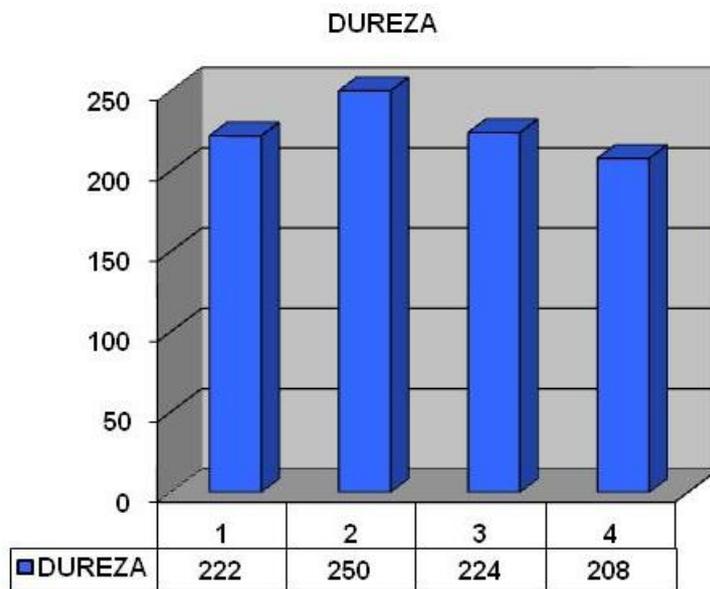


Fig. 8 - Valores de Dureza

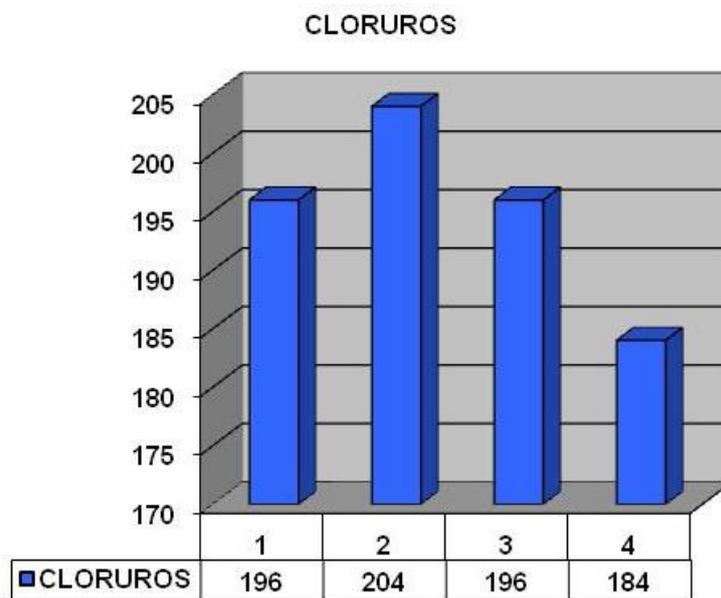


Fig. 9 - Valores de Cloruros

Se obtuvo un valor promedio para Residuos Totales 1132, 50. Ver Fig. 10 “Valores de Residuos Totales”. Para Sulfatos se tiene 209,25 (mg/l) que se corresponde a >1. Ver Fig. 11

“Valores de Sulfatos”. Para el caso de Sólidos Fijos es 833,75 y Volátiles de 298,75. Ver Fig. 12 “Valores de Sólidos Fijos y Volátiles”.

## 2.2 Prueba de germinación

Se han sembrado las semillas de cada tipo de flores en Caja de Petri, en la Tabla 1 “Tipo de Cultivo, Cantidad de Semillas y Cantidad de Agua Regada”, se muestra la cantidad sembrada y la cantidad de agua regada de residual y potable, durante el tiempo de la prueba que se corresponden a 15 días. La temperatura promedio del laboratorio fue de 26°C. El tiempo promedio de germinación total de las semillas han sido de 11 días y se corresponden al 90% de semillas.

CULTIVO	Nº DE SEMILLAS	AGUA REGADA
<b>Alegría del hogar</b>	<b>5</b>	<b>50 ml.</b>
<b>Caléndula</b>	<b>8</b>	<b>50 ml.</b>
<b>Siempre viva</b>	<b>5</b>	<b>50 ml.</b>
<b>Zinnia</b>	<b>5</b>	<b>50 ml.</b>

Tabla 1 – “Tipo de Cultivo, Cantidad de Semillas y Cantidad de Agua Regada”

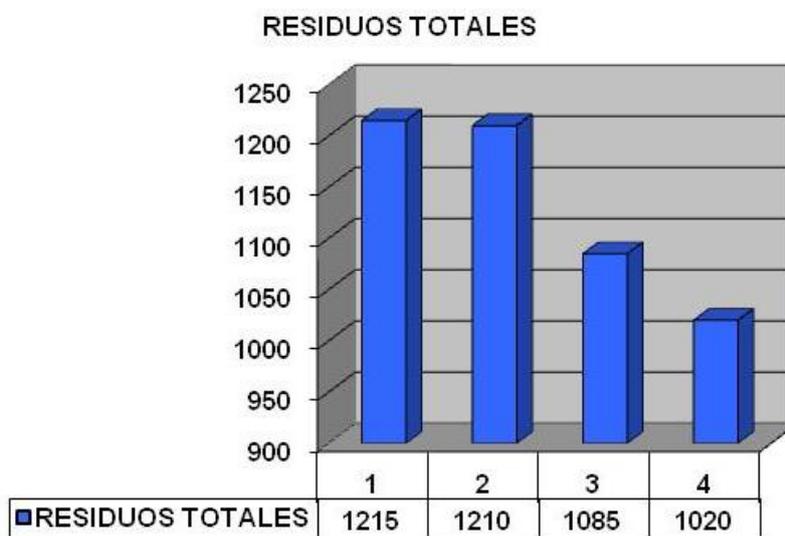


Fig. 10 - Valores de Residuos Totales

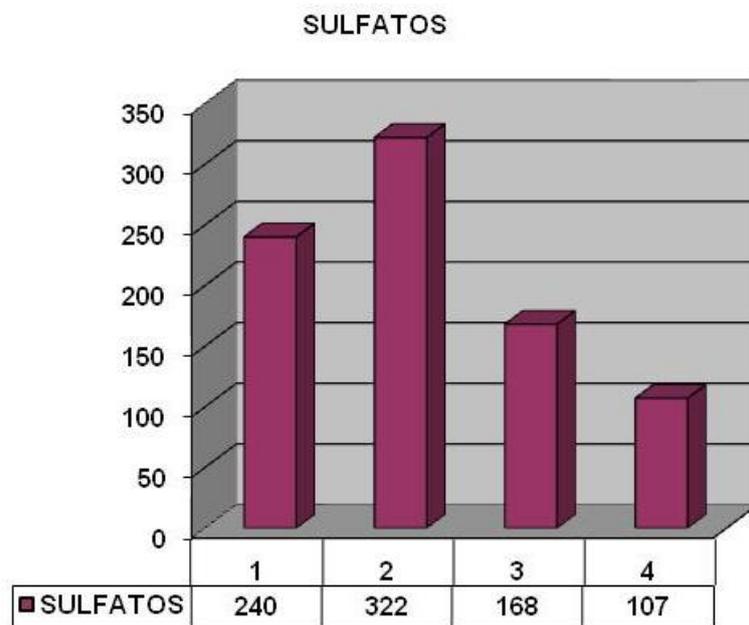


Fig. 11 – Valores de Sulfatos

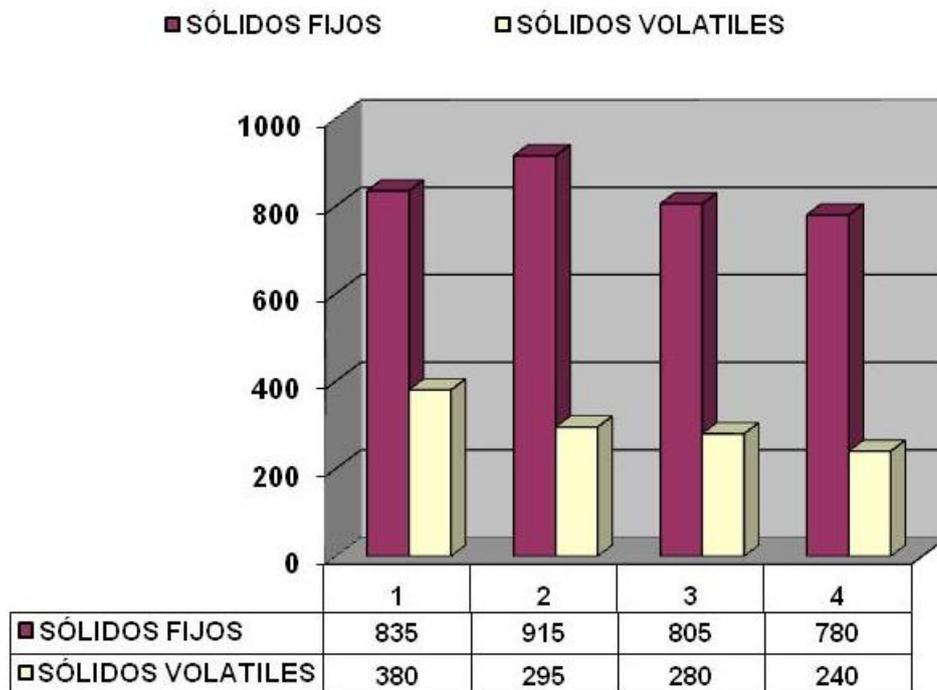


Fig. 12 - Valores de Sólidos Fijos y Volátiles

### 2.3 Siembra de almacigo

Se regaron 4 macetas con agua residual al 100 % y brotaron. Se regaron 4 macetas con agua potable como testigo y brotaron. A la primera semana de riego con residual se secaron los brotes. A la primera semana de riego con agua potable se desarrollaron normalmente. A la tercera semana de riego con agua potable han adquirido una altura media de 15 cm. y se prepararon los plantines para ambos sistemas de riego.

## 3. OBSERVACIONES

### 3.1 En plantines

Los plantines regados con *agua potable*, tuvieron un desarrollo normal en parámetros de control. Para los plantines regados con residual al 100%, en 1º semana fue desarrollo normal y mejor que el potable. En 2º semana se frena el desarrollo y terminan secándose los plantines.

Los plantines regados con *agua residual al 75%*, en 1º semana de desarrollo poco menos que la testigo, las hojas son más chicas en tamaño que lo normal. Empezó a frenar el desarrollo en la 2º, 3º y 4º semana de plantación, se secaron las plantas antes de llegar a la etapa de floración.

En los plantines regados con *agua residual 50%*, en 1º semana normal su desarrollo fue normal y en la 2º semana muy poco por debajo de la testigo. En 3º y 4º semana, su desarrollo muy poco por debajo de lo normal. Las hojas casi iguales pero de color menos verdoso. En la etapa de floración las flores son poco menos de tamaño y menos brillo en los pétalos.

En plantines regados con *agua residual al 25 %*, la 1º semana normal y mejor que la testigo. Para 2º, 3º y 4º semana el desarrollo mucho mejor. Las hojas son mucho más grandes y de mejor aspecto que la testigo, y en la etapa de floración se obtienen flores más grandes.

### 3.2 En altura de las plantas

La altura de las plantas, se determinó un promedio de 27,5 cm con agua residual y de 28 cm con agua potable.

### 3.3 En floración

Para la floración, se encontró lo siguiente: 1 o 2 botones y 1 o 2 flores por tallo con agua residual al 50% y de 2 o 3 botones y 2 o 3 flores por tallo.

## 4. CONCLUSIÓN

- Suponemos que el frenado del desarrollo de las plantas regadas con agua residual al 100% y 75% se debe a la presencia de sustancias químicas nocivas para el desarrollo como detergente y otras sustancias usadas en la limpieza domestica. Aunque esta agua tenga mejores nutrientes orgánicos, sabiendo que al regar mucho tiempo con agua

residual a esta concentración puede acumular la concentración del contaminante tóxico en la tierra regada afectando al desarrollo de la planta.

- Aunque viendo el mejor desarrollo de las plantas florales regadas con una dilución residual al 25% sugerimos el uso de la dilución del 50% porque nos da resultados casi igual al riego con agua potable.

#### **REFERENCIAS:**

- [1] Metcalf & Eddy. - *Tratamiento Y Depuración De Aguas Residuales*. Editorial MC. Graw-Hill 1998.
- [2] Tyler Miller Jr. - *Ciencia Ambiental, Desarrollo Sostenible Un Enfoque Integral, Preservamos la tierra*. Editorial Thomson. 2004.
- [3] Enkerlin E. C. y col. - *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*. Editorial Thomson 2007.
- [4] Orozco Barrenetxea C. - *Contaminación Ambiental* – Editorial Thomson 2003.
- [5] Glynn H. y col. - *Ingeniería Ambiental*. Editorial Prentice Hall.1999.



# PROPUESTA DE UN MARCO NORMATIVO NACIONAL PARA EL REUSO DE AGUAS RESIDUALES, DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS PRESUPUESTOS MÍNIMOS

**Sartor, Aloma; Cifuentes, Olga**

1: Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA)  
UTN - Facultad Regional Bahía Blanca  
11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca

asartor@frbb.utn.edu.ar  
ocifuentes@speedy.com.ar  
<http://www.frbb.utn.edu.ar>

**Palabras clave:** Legislación, reuso, aguas residuales, GIRH

**Resumen.** *El documento presenta un proyecto de ley que establece las condiciones para promover el reuso de aguas residuales. El trabajo se realiza desde el Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental de la Facultad Regional Bahía Blanca de la UTN. En el mismo se analizan los criterios necesarios para impulsar la actividad de reuso de aguas residuales, las particularidades jurídicas que establece el marco normativo nacional, en especial los presupuestos mínimos de protección a los recursos naturales como marco nacional de esta propuesta. Se considera que aunque existen experiencias de reuso en diferentes provincias, estas tienen niveles de desarrollo diferentes. El país no tiene un marco legal que establezca las condiciones mínimas requeridas así como las políticas de promoción para el desarrollo de esta actividad. La recuperación de aguas residuales se ha convertido para el mundo, en una nueva opción como fuente de agua, especialmente en zonas áridas y semiáridas, por lo que esta actividad demanda nuevos conocimientos en sistemas de tratamiento, planificación integrada, monitoreo de cuencas y definición de estándares en función del uso final, entre otros. La propuesta es un punto de partida para generar el debate e incorporar sugerencias que puedan enriquecer la misma, así como para avanzar en la reglamentación.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de ley, pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Reducir la demanda sobre las fuentes de agua dulce por medio del reuso de las aguas residuales destinadas a actividades productivas y paisajísticas.
- Disminuir los vertidos de carga contaminante sobre diferentes cuerpos receptores, por medio de la gestión de los efluentes, tendiendo a la minimización del vuelco, incorporando tecnologías secas y reciclado de los efluentes.
- Potenciar el desarrollo de actividades productivas sustentables utilizando aguas residuales tratadas en zonas de secano.

Entre los beneficios directos que proporcionaría el reuso de aguas residuales, pueden destacarse:

- El ahorro del agua como consecuencia de liberar los caudales de agua dulce actuales destinados a actividades paisajísticas, productivas o agrícolas, sustituyéndolos por agua obtenida de los tratamientos de las aguas residuales.

- La captación de nutrientes presentes en el efluente cloacal para destinarlo como fertilizante en suelos para la producción agropecuaria<sup>i</sup>.
- En particular, el tratamiento del efluente cloacal destinado al reuso en actividades productivas, evitaría los aportes de contaminantes actuales a los cuerpos receptores debido al generalizado déficit o ausencia de tratamientos de los mismos, previo a su disposición final. El incentivo para incorporar estos programas de reutilización, no exime a que una vez reutilizados, cumplan con los parámetros fijados por la ley para el vuelco final, según los estándares medioambientales existentes en las normativas provinciales.

## 2. CONDICIONES MARCO PARA AVANZAR EN LA ARGENTINA

Los objetivos del presente Proyecto de Ley y los beneficios planteados son un camino cada vez más utilizado en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Existen condiciones apropiadas para favorecer el desarrollo de actividades de reuso de aguas residuales tratadas, a partir de políticas que las incentiven. Entre ellas, se enuncian tres que permiten evaluar la potencialidad de esta actividad en la Argentina:

1) Según informe oficial, la inversión pública en la última década en “Agua Potable y Alcantarillado” dentro del Gasto Público Social ha aumentado de un 0,9 % (2000) a un 2,3% (2009)<sup>ii</sup>. Asimismo, en los informes anuales sobre el progreso de las acciones del país para alcanzar las metas fijadas en los Objetivos de Desarrollo del Milenio para el 2015, surge la importancia estratégica del aumento sostenido en la inversión destinada a las infraestructuras de saneamiento, dada las externalidades positivas que estas infraestructuras generan, en la mejora de la calidad de la vida para las poblaciones involucradas. En la Argentina, el acceso al agua potable alcanza una cobertura del 81 % de la población, sin embargo no se ha modificado sustancialmente el porcentaje de viviendas que están conectadas a redes cloacales que es de 55 %<sup>iii</sup>. También en el “Plan de Recursos Hídricos de la República Argentina” se hace referencia al déficit en infraestructura de saneamiento. “Menos del 40 % de la población urbana tiene acceso a los servicios de alcantarillado. Esto hace que una de las consecuencias más importantes sea la existencia de enfermedades infecciosas y contagiosas. El país muestra un índice de morbilidad general de estas enfermedades de 8,7% comparado con el 1% observado en aquellos países donde las necesidades de agua potable y saneamiento han sido exitosamente satisfechas”<sup>iv</sup>.

Como se menciona en el párrafo anterior, la Argentina ha avanzado en estos últimos años en inversiones destinadas a “agua potable y alcantarillado” destinando un porcentaje de 1,8 % del total de la inversión social realizada según datos oficiales del informe de ODM 2009<sup>v</sup>. En este sentido, las metas propuestas para el 2015 de alcanzar el 75 % de la población con servicios sanitarios de cloacas, se convierten en una oportunidad de avanzar en proyectos de

---

<sup>i</sup> El destino mayor de las aguas residuales en el mundo es el riego para lo que se ha convertido en un nuevo e ineludible recurso hídrico, sin embargo el crecimiento de esta actividad en el país deberá impulsarse a partir de establecer estándares que posibiliten este uso, asegurando que su caracterización -muy especialmente el control de microorganismos patógenos y parásitos- no provoque riesgo sanitario.

<sup>ii</sup> PNUD. (2010). “Objetivos de Desarrollo del Milenio. Rendición de cuentas 2010”. [www.undp.org.ar/docs/odm/odm2010](http://www.undp.org.ar/docs/odm/odm2010)

<sup>iii</sup> Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2010), “Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible”. [www.ambiente.gov.ar](http://www.ambiente.gov.ar)

<sup>iv</sup> Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos. CONAGUA 2007. San Miguel de Tucumán. [www.ica.gov.ar/Documentos/Ingenieria/conclusiones Plan Nacional rrhh](http://www.ica.gov.ar/Documentos/Ingenieria/conclusiones%20Plan%20Nacional%20rrhh)

<sup>v</sup> PNUD. (2009). Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Informe presentado por el Gobierno Nacional

regeneración de agua alcanzando condiciones sanitarias y ambientales que permitan su utilización en nuevas actividades, especialmente asociadas a las zonas con graves problemas de contaminación o con escasez del recurso, de forma de disminuir la presión sobre las fuentes de agua y optimizar su uso en otras actividades como podrían ser las productivas.

2) La existencia de importantes recursos superficiales y subterráneos en el país, no puede convertirse en óbice para comprender la importancia en avanzar en políticas que incorporen el valor de “escasez”, la noción de “gestión integrada”, la perspectiva de “gobernanza del agua” como condiciones necesarias para definir políticas nacionales, programas y proyectos cuyo objetivo sea alcanzar metas de sustentabilidad, que son reconocidas en varios documentos de carácter regional.

En algunas regiones, la presencia de ríos, cuerpos lacustres o acuíferos, no significa recursos suficientes para su disponibilidad, ya que para que esto ocurra debe conjugarse la disposición en tiempo, espacio, calidad, cantidad y precio, tal que sea una condición de “equidad” en dicha accesibilidad. En la Argentina el 85 % de los recursos hídricos superficiales se localizan en la Cuenca del Plata que abarca un 30% de su superficie, con más de un 75 % del territorio nacional que corresponde a zonas áridas o semiáridas.<sup>vi</sup>

El abanico de ambientes de las diferentes regiones del país, que van desde zonas con reiterados eventos de inundaciones a otras que sufren recurrentes ciclos de sequía, se verán afectadas por los efectos del cambio climático, por lo que se impone desarrollar estrategias preventivas y remediales, para preservar cada uno de dichos ambientes, generando condiciones para favorecer el desarrollo sustentable de sus comunidades. Este panorama se agrava si se analiza la irregular distribución poblacional de la Argentina, con un 90 % de población urbana, de la que un 75 % se localiza sobre la Cuenca del Plata y sus subcuencas de los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay<sup>vii</sup>. En este caso, la recuperación y reuso de agua se convierte en una estrategia desde la perspectiva medioambiental, con el objetivo de disminuir la carga contaminante sobre los cuerpos receptores finales.

En relación a las prácticas productivas el avance de un modelo agroexportador ha impulsado el uso de agroquímicos, el corrimiento de la frontera agrícola y la intensificación de las prácticas alterando la capacidad de recarga de los acuíferos y afectando la calidad del agua tanto de los recursos superficiales como los subterráneos existentes en estas mismas cuencas.

En otros ambientes, la combinación del desarrollo de prácticas productivas inadecuadas realizadas en ecosistemas áridos y semiáridos que constituyen ambientes frágiles, producen riesgo de erosión sobre los suelos y, en condiciones extremas de escasez de lluvias, finalizan en procesos de desertización anulando toda posibilidad de desarrollo para dichas regiones. El 75% del territorio argentino presenta estas condiciones de vulnerabilidad, en particular en la Patagonia entre el 30 y 35% presenta indicios de desertificación grave a muy grave (INTA, 2010). En estas regiones, entre otras medidas es necesario contar con políticas que incentiven un mayor aprovechamiento del agua y la preservación de estos ambientes que presentan un alto grado de vulnerabilidad. La posibilidad de contar con tecnologías que permitan el reuso del agua tratada, especialmente derivada de los asentamientos urbanos, potencia el desarrollo de actividades productivas alternativas en diferentes escalas.

---

<sup>vi</sup> Subsecretaría de Recursos Hídricos. (2006) “Bases para un Plan Nacional de los Recursos Hídricos de la Argentina” en [www.hidricosargentina.gov.ar/Base-PlanNac.pdf](http://www.hidricosargentina.gov.ar/Base-PlanNac.pdf)

<sup>vii</sup> En la Cuenca del Plata, concurren el 84 % de los recursos hídricos del país en 900000 km<sup>2</sup> (1/3 del territorio nacional), asimismo sobre esta cuenca se localiza los mayores complejos urbanos e industriales alrededor de la ciudad de Buenos Aires.

3) Especialmente en los centros urbanos de mayor concentración, los procesos crecientes de contaminación de los cuerpos de agua subterráneos o superficiales, como consecuencia de descargas de efluentes contaminados tienen sus efectos directos en el aumento de los costos de la captación y del tratamiento de agua, así como en las dificultades tecnológicas para llevarlo a cabo, aumentando las distancias de transporte y los costos de acceso al agua segura para la población. La gestión desintegrada del agua, ya sea en zonas de abundancia o en ambientes de escasez, ha dado como resultado procesos de contaminación de las fuentes de agua especialmente en algunas regiones con áreas urbanas cuya presión sobre el recurso hídrico se ha agotado o contaminado los mismos.

Las tensiones crecientes en relación a la disponibilidad de agua a nivel mundial impulsan a los países a generar políticas y estrategias para preservar el recurso y para potenciar su uso en un desarrollo sustentable. En el país, en distintas regiones, la gestión de los recursos hídricos se ha desarrollado con modalidades y arreglos institucionales diferentes, que dan cuenta de la relación de las comunidades con su ambiente y en particular las prácticas productivas y culturales que han construido para abordar la problemática de la gestión del agua. Los marcos institucionales y normativos reflejan la complejidad de este andamiaje construido a lo largo de sus historias, en algunos casos muy consolidados, como es el caso de Mendoza, y en otros incipientes o aún inexistentes.

Esta diversidad regional en la Argentina, en relación a la distribución y calidad de sus recursos hídricos, como a la localización de las actividades productivas y de los asentamientos urbanos, exige un complejo normativo flexible que articule jurídicamente entre las normas nacionales y las normas provinciales con jurisdicción a los recursos naturales y con desarrollo diferente en materia de política del agua. Los artículos 1, 2 y 4 del proyecto de ley, plantean la compatibilización jurisdiccional como condición esencial para avanzar en políticas hídricas considerando el carácter estratégico de este recurso en el desarrollo del país. Su condición esencial de funcionamiento como unidad hidrográfica y el carácter cíclico e integrado a otros recursos naturales y la vida misma, demanda la definición de políticas nacionales en aspectos esenciales que coadyuve a su preservación, impulsando mecanismos de coordinación jurisdiccional y diferenciación de responsabilidades, fijando estándares realistas que prioricen el aspecto sanitario y el fortalecimiento de recursos destinados a infraestructura sanitaria, sin que esto contradiga los derechos que las provincias tienen sobre los recursos naturales.

En estos últimos años se ha avanzado en la organización del andamiaje institucional vinculado a las políticas hídricas del país, que se inicia con una convocatoria de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (2000-2002). Con base en las facultades concurrentes entre las provincias y la Nación, se realizaron Talleres que se convirtieron en el principal antecedente para definir los Principios Rectores de Política Hídrica para el país. En el 2003 se firmó el Acta Constitutiva del Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y posteriormente, el Acuerdo Federal del Agua. Esta etapa fue el primer paso para establecer los principios básicos de la organización, gestión y economía de los recursos hídricos. En una segunda etapa, se avanzó además en la definición de un Plan Nacional y Federal de los Recursos Hídricos con encuentros nacionales y provinciales que permitieron consensuar los lineamientos generales de la política hídrica del país presentado en el 2007 por la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) y el COHIFE.

La necesidad de la articulación institucional y jurídica para la gestión concreta del recurso queda reflejada en el Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos donde se manifiesta que “La forma en que se asignan competencias y se distribuyen responsabilidades entre los distintos actores del sistema de gestión –es decir sus roles, incluyendo en particular al Estado

en sus diferentes jurisdicciones- está basada en la organización política establecida en la Constitución Nacional y Provinciales (entre otros), pero termina de definirse mediante mecanismos de coordinación y acuerdos de cooperación, que son generados por la gestión de los organismos competentes”. La relevancia de las acciones de coordinación y complementación entre organismos para la Gestión Hídrica, quedan explícitos en el Proyecto en los artículos 2 y 14.

Respecto de la compatibilización de la propuesta de este Proyecto de Ley con los lineamientos de la política hídrica, el documento “Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina”, el capítulo del “Agua y el Ambiente”, se convierte en el respaldo más importante del marco de la política hídrica federal, para avanzar en prácticas de reuso del agua en condiciones seguras. En su principio “11. Conservación y Reuso del Agua. Las prácticas conservacionistas y el reuso del agua brindan oportunidades para el ahorro del recurso que derivan en importantes beneficios sociales, productivos y ambientales; beneficios que deben compartirse entre los múltiples usuarios del recurso. El reciclado del agua a partir de la modificación de procesos industriales, la disminución de los altos consumos de agua potable, el reuso de aguas residuales proveniente de centros urbanos e industriales en otras actividades, el aumento de eficiencia en el consumo de agua por el sector agrícola bajo riego; constituyen líneas de acción concurrentes en pos del uso racional y sustentable del recurso”.

Otro antecedente principal en la estructuración de las políticas hídricas, es la Ley 25688, de presupuestos mínimos; en este sentido, el proyecto de Ley en su artículo 2, propone que la Autoridad de Aplicación, incorpore como parte de las políticas públicas en torno a la gestión del agua, la actividad de reuso de aguas residuales, como una acción más destinada a preservar y optimizar el uso del recurso.

La necesidad de profundizar mecanismos que incentiven un uso más sustentable de los recursos hídricos ha favorecido la incorporación en la gestión de tecnologías que respeten el ciclo del agua, dando como resultado el crecimiento de actividades de regeneración de agua residual en diversos países y el desarrollo de diversas tecnologías para su tratamiento.<sup>viii</sup>

Entre los antecedentes mas relevantes se encuentran las experiencias de China con más de 1300000 Has de cultivo regadas con aguas residuales, México con una generación de aguas residuales tratadas de 10867 l/s con destinos diversos, distribuidos entre usos agropecuarios e industriales<sup>ix</sup>. Asimismo Israel, es el país con mayor recuperación de los efluentes cloacales alcanzando las actividades de reuso el 75 % del total y en el caso de España un reuso del 15 % de sus efluentes.

En el país, Mendoza es la provincia con antecedentes mas importantes en la reutilización de aguas residuales, que cuenta con mas de 9408 Ha<sup>x</sup> regadas en Áreas de Cultivo Restringidos Especiales (ACRE), a partir de una recuperación de aguas de casi el 90 % del sistema cloacal, para una población de 800000 habitantes. La provincia ha desarrollado un complejo normativo amplio que determina calidad de efluentes y categorías de reuso de los efluentes cloacales (Res. 715/00) en las ACRE.<sup>xi</sup>

---

<sup>viii</sup> Urbano Díaz et al. (2006). “Saneamiento Integral y Reuso Industrial en la Agricultura en San Luis de Potosí” presentado en el 4th World Water Forum

<sup>ix</sup> Escalas Cañellas, A., (2006). “Tecnologías y Aguas Residuales en México” en Congreso sobre “Tecnologías Sostenibles para el tratamiento de aguas y su impactos en sistemas acuáticos”. Universidad de Concepción, Chile.

<sup>x</sup> Reta, José (2002). Director de Policía del Agua de Mendoza, de 1998 a 2002, estudio publicado por FAO.

<sup>xi</sup> Mastrantonio, A. (2006). “Reuso agrícolas de efluentes industriales y cloacales: efectos en la calidad del agua

La provincia del Chubut, en el marco de la Ley 5850 de Política Hídrica aprobada en el 2008, en su artículo 19 incorpora la actividad de reuso de aguas residuales, que ha permitido avanzar en experiencias al respecto.<sup>xii</sup>

### **3. CRITERIOS Y ASPECTOS CENTRALES EN EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE REUSO DE AGUAS**

En el artículo 5 del Proyecto se proponen los criterios sobre los que se desarrollarán las políticas, programas e instrumentos que incentiven el desarrollo de actividades de reuso de aguas.

#### **3.1. Fortalecimiento de la infraestructura de saneamiento urbano**

Es importante señalar que si se quiere recuperar agua de los efluentes de los centros urbanos, es necesario continuar con el fortalecimiento y desarrollo de la infraestructura sanitaria como una primera condición para generar proyectos de reuso de aguas residuales tratadas. Incorporando soluciones a diferentes escalas y diversidad de tecnologías, según sean las características de cada asentamiento, clima, morfología y superficies disponibles, por que resultan de muy alta especificidad.

#### **3. 2. Incentivar el abordaje específico e integrado del reuso de aguas**

Cada lugar puede convertirse en una oportunidad de recuperación de aguas residuales con otro destino que no sea el vuelco final a cuerpos receptores, en muchos casos sin tratamientos previos, sin embargo la particularidad de cada lugar (ambiental, social, institucional y productiva) demanda un abordaje integrado de soluciones que contemple en cada caso dichas especificidades. En este sentido la infraestructura sanitaria se transforma en una infraestructura estratégica, cuyo diseño condiciona o potencia la posibilidad de integrarla a proyectos de reutilización de las aguas residuales<sup>xiii</sup>.

Las prácticas con incorporación de innovación tecnológica se favorecerán con nuevas soluciones para el abastecimiento de agua potable, saneamiento y reuso desde una perspectiva flexible, en diferentes escalas, especialmente en las zonas de mayor escasez del recurso. Esto último merece destinar mecanismos de promoción a proyectos integrados a

---

y suelo”. Edit. Por la Organización de Estados Iberoamericanos. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales PROSAP/SAGPyA- BIRF. Programa de Riego Mendoza.

Fasciolo, G. (2001). “Reuso de Efluentes para Riego” trabajo presentado en Seminario Cuyano: Ecología, Ambiente y Salud”.

<sup>xii</sup> “- Art. 19. Acéptese como parte integrante del tratamiento de los desagües cloacales e industriales, el reuso ordenado en suelo, con tratamiento complementario en tierra, e implantación de cultivos restringidos, debiendo complementarse el mejoramiento de líquidos progresivamente en etapas sucesivas, antes de su ingreso al reuso. Los espacios donde se aplicará el reuso de los efluentes se denominará «Área de Cultivos Restringidos Especiales». La Autoridad de Aplicación otorgará los respectivos permisos de reuso de efluentes y reglamentará las condiciones de uso y calidad de las aguas tratadas y los cultivos permitidos en dichas áreas”.

En el Seminario Reuso de Efluentes Líquidos Urbanos e Industriales, realizado en Puerto Madryn el 30 de septiembre y 1 de octubre del 2010, se presentaron diversas experiencias en diferente grado de avance de reuso de aguas residuales con tratamientos primarios y otros con secundarios.

<sup>xiii</sup> En el Proyecto Regional “Sistemas Integrados de Tratamiento y Usos de Aguas Residuales de Latinoamérica: Realidad y Potencial” Convenio IDRC-OPS/HEP/CEPIS. Caso Campo Espejo del Aglomerado Mendoza. “2000-2002” se desarrollo una propuesta de integración de tratamiento y uso, especialmente destinada a zonas áridas, ver páginas: 27, 28 y 29.

través de instrumentos de políticas que incentiven su desarrollo, tal como lo establecen los artículos 11 y 12 del Proyecto.

### **3.3. Definición de criterios y estándares mínimos de la actividad**

Desde una perspectiva diferente, aunque complementaria en cuanto a las posibilidades concretas de su implementación, la calidad de los efluentes cloacales condicionará, en forma directa, los costos de los procesos de tratamiento, anulando o potenciando la posibilidad de su uso posterior. La eficiencia de estas plantas de tratamiento, debe ir acompañada de sistemas de control de los vuelcos a la red en las ciudades, ya que esta recibe actualmente todo tipo de efluentes lo que transforma al efluente cloacal, en otro de carga contaminante asimilable a las características de un efluente industrial. Sin embargo, se debe advertir que las zonas de mayor concentración urbana, donde se multiplican la diversidad de actividades que vuelcan sus efluentes en el sistema cloacal, se localizan en provincias que tienen normativas que fijan parámetros de calidad de vuelco sobre dicha red cloacal. Estos aspectos, centrales en su consideración para avanzar en la recuperación de las aguas residuales, no clausuran la necesidad de valorar al efluente cloacal tratado como un recurso hídrico, sobre el que se deben establecer marcos jurídicos y controles necesarios para impulsar su utilización.

La experiencia internacional y nacional en esta materia, permite anticiparse y definir los criterios de calidad en función de los usos, así como las responsabilidades del sector público y privado sobre esta nueva alternativa. En este sentido la provincia de Mendoza cuenta con una arquitectura institucional y jurídica compleja en materia de gestión de agua y en la utilización de las aguas residuales que debieran convertirse en antecedentes valiosos para definir los criterios esenciales en una ley a nivel nacional en dicha materia<sup>xiv</sup>.

### **3.4. Planificación Integrada**

La implementación de Sistemas Integrados de Tratamiento y Usos de Aguas Residuales y la perspectiva de análisis que respete la cuenca hidrográfica facilita el desarrollo de proyectos de uso de aguas residuales tratadas. Así como el uso de los recursos hídricos naturales necesita planificación, también esta nueva alternativa debe formar parte de la misma. La Planificación de Reutilización de Agua, deberá aportar diagnósticos y caracterizaciones particulares de cada cuenca y de las infraestructuras existentes en ellas. El proyecto de ley propone también como instrumentos preventivos, en su artículo 14, el monitoreo de las cuencas y el seguimiento de la evolución de estas actividades, las que deberán integrarse al monitoreo realizado por sus organismos de gestión, así como la elaboración de un inventario de actividades de reúso de aguas residuales y sus efectos sobre el ambiente.

Un antecedente valioso que no puede dejar de mencionarse es la publicación realizada por el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) el 8 de agosto del 2003, respecto de los Fundamentos del Acuerdo Federal del Agua, coordinado además por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Los antecedentes importantes de algunas provincias no significan que los mismos estén generalizados. La disposición de nuevas tecnologías aún no consolidadas requieren la planificación de programas educativos y de capacitación para difundir la actividad de reúso de aguas residuales, cada vez más importante, generando nuevas posibilidades productivas en

---

<sup>xiv</sup> Bertranou & Araujo. "Investigación sistémica sobre regímenes de gestión del agua". Caso Mendoza. Edit. Global Partnership

zonas áridas y semiáridas. Esta actividad es una de las facultades que el Proyecto propone en su artículo 14 a cargo de la Autoridad de Aplicación de la Ley.

### 3.5. Compatibilización y coordinación de organismos

Lo descrito anteriormente lleva a advertir sobre la diversidad de organismos públicos y privados que gestionan los servicios de agua y saneamiento -en muchos casos con distintos operadores- y la necesidad de coordinación de agentes, escalas y jurisdicciones diferentes.<sup>xv</sup>

### 3.6. Estándares de calidad

La utilización de aguas residuales sin tratamiento previo, destinada a riego de cultivos y a proyectos de acuicultura, tiene una larga historia en diferentes países, en algunos casos con efectos negativos sobre las condiciones sanitarias de la población.

Uno de los aspectos más cuestionados en las actividades de reuso de aguas residuales es la presencia de patógenos que ponen en riesgo la salud de la población. Esta característica requiere establecer criterios sanitarios y ambientales definidos por medio de estándares que fijen los parámetros físicos, químicos y biológicos para diferentes usos finales. Cuestión esta última, sobre la que se ha avanzado sustancialmente en las últimas décadas, tanto en incorporación de nuevas tecnologías para el tratamiento de los efluentes, como en la implementación de marcos normativos que definan usos y condiciones para permitir dichas actividades.<sup>xvi</sup>

En el artículo 14, el proyecto propone que por vía de la reglamentación, se fijen los niveles guías de calidad, como estándares de calidad mínimos vinculados a su destino final o usos, lo que no impide que las provincias sean más restrictivas, o que complementen estas especificaciones de la norma nacional<sup>xvii</sup>.

La experiencia mundial de reutilización de aguas, las tecnologías disponibles y el conocimiento desarrollado respecto de los riesgos inherentes a esta actividad, han llevado a los países que tienen normas sobre el uso de aguas regeneradas o aguas residuales tratadas y a la Organización Mundial de la Salud (OMS), a definir criterios sanitarios y ambientales, cada vez más flexibles, que permiten evaluaciones especiales, según el uso posterior de cada proyecto.

## 4. INCENTIVOS IMPOSITIVOS A LOS PROYECTOS PRODUCTIVOS

Los artículos 11 y 12 establecen mecanismos, que se definirán por vía reglamentaria, destinados a promover proyectos de reutilización de las aguas residuales. En especial para la utilización de los efluentes cloacales tratados, se deben establecer políticas de incentivo en la construcción o adecuación de la infraestructura de los sistemas de tratamiento existentes para adecuarlos a los requerimientos de reutilización de las aguas, según su destino final. Más allá

<sup>xv</sup> Informe Nacional del Agua (2000). (El ENOHSA debe contar con esta información actualizada)

<sup>xvi</sup> Ej. La utilización de aguas residuales tratadas en torres de enfriamiento genera riesgo de *legionelosis* para lo que se hace una mención específica en el artículo 9 del Proyecto

<sup>xvii</sup> Existen numerosos antecedentes de reglamentación de los estándares de aguas residuales para su reutilización según el destino final en diferentes partes del mundo, (México NOM-003-SEMARNAT-1997; NOM-004-SEMARNAT-2002); (US EPA, 1992, Environmental Agency. Manual, Guidelines for Water reuse); (Decreto Real 1620/2007, España); Guías para el reuso de aguas residuales en agricultura y acuicultura (OMS, 1989); Directrices elaboradas por EPA (USEPA, 2004)

de éstas políticas de incentivo al desarrollo de las infraestructuras, que son necesarias para avanzar en el reuso de aguas residuales, las actividades vinculadas al sistema de reutilización de las aguas incorporan costos que deben ser reflejados en el valor económico del agua y que deben contemplar además las particularidades de cada región.<sup>xviii</sup>

El proyecto plantea, en su artículo 16, la necesidad de avanzar en la utilización de esta nueva fuente de agua que no puede estar separada de una estrategia vinculada a que el mercado del agua incorpore gradualmente los costos de su disponibilidad, especialmente cuando se trata de su destino en las actividades productivas. Las experiencias en otros países como México, están asociadas a que los costos del metro cúbico de las aguas residuales tratadas son similares a los de agua dulce<sup>xix</sup>.

También se prevé, en el artículo 17, la participación de la inversión privada y el diseño de planes estratégicos públicos para el reuso de las aguas, mediante diversas promociones. Se establecen severas sanciones a los infractores, sean éstos personas físicas o jurídicas.

Como se explicó anteriormente, el ámbito interjurisdiccional del recurso amerita la existencia de compromisos políticos e institucionales que involucren tanto al estado nacional como a las jurisdicciones locales, lo que deriva en la necesidad de la adhesión de los estados provinciales a los fines de la presente ley.

## 5. PROYECTO DE LEY. REUSO DE AGUAS RESIDUALES

**Artículo 1.-** La presente ley tiene por finalidad establecer las condiciones tendientes a promover la reutilización de aguas residuales, como presupuesto mínimo de protección a los recursos naturales, conforme lo establece el artículo 41 de la Constitución Nacional.

**Artículo 2.-** En cumplimiento del principio 11 del Acuerdo Federal del Agua, declárase de Interés Público las actividades y acciones tendientes al reuso de aguas residuales, como parte integrante de las políticas públicas de utilización y preservación del agua, complementando lo normado por la Ley 25688: “Régimen de Gestión Ambiental de Aguas”.

**Artículo 3.-** A los efectos de la presente ley se definen los siguientes términos:

- a) Reutilización o reuso de aguas residuales tratadas: aplicación, antes de su vuelco al sistema hidráulico o a cuerpos receptores finales, para un nuevo uso, de las aguas residuales que se han sometido a procesos de depuración o tratamiento, alcanzando los parámetros establecidos en los estándares de vuelco de la normativa y los necesarios para cumplir con las condiciones requeridas en función al destino en las que se van a utilizar.
- b) Aguas residuales: Aquellos efluentes del sistema cloacal urbano o de sistemas productivos sin tratamiento previo.
- c) Aguas depuradas: aquellos efluentes que han sido sometidos a un tratamiento que les permite alcanzar parámetros de vuelco establecidos por la normativa correspondiente.

---

<sup>xviii</sup> Ramírez et al, (2004). “Factibilidad financiera del reuso de aguas residuales tratadas en Tijuana, Baja California, bajo mecanismos del mercado, el caso del Proyecto Monte de los Olivos” en “Ingeniería Hidráulica en México”, Vol. XIX, num.3; pp. 113-127.

<sup>xix</sup> Escalante et al, (2003). “El Reuso de Aguas Residuales en México”, Instituto Mexicano en Tecnología del Agua en el Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el tratamiento de aguas residuales.

Del trabajo de Escalante surge que en México el costo del agua tratada varía entre \$ 1,48 y 5 por metro cúbico dependiendo del tipo y nivel de tratamiento, y el agua potable entre 4 y 14 \$/m<sup>3</sup> (en pesos mexicanos).

- d) Aguas regeneradas: son las aguas residuales depuradas sometidas a procesos de tratamientos adicionales o complementarios que permiten adecuar su calidad al uso al que se destinan.
- e) Sistema de reutilización de las aguas: conjunto de instalaciones para realizar los procesos de regeneración de aguas, almacenamiento y distribución para su reutilización según el uso al que este destinada.
- f) Infraestructura de almacenamiento y distribución de agua regenerada: constituye el conjunto de instalaciones que desde el punto de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, transporta, almacena y distribuye el agua regenerada hasta sus puntos de entrega para su reutilización.

**Artículo 4.-** Prohíbese en todo el territorio nacional el reuso de aguas residuales que no cumplan con lo establecido en la presente ley.

Las jurisdicciones locales en su carácter de titulares de los recursos hídricos, podrán establecer requisitos más estrictos de acuerdo a las características geográficas de cada provincia, condiciones sanitarias y sus políticas públicas vinculadas al tratamiento de las aguas residuales.

**Artículo 5.-** Las políticas referidas al reuso de aguas así como la evaluación de proyectos o actividades deberán ajustarse a los siguientes criterios:

- a) El agua como elemento único, independientemente de las fases o calidad en la que se presente después de su uso.
- b) La cuenca hidrográfica como unidad de análisis.
- c) Alentar la integración de los sistemas de saneamiento con los sistemas de reutilización.
- e) Incentivar la minimización de efluentes finales volcados a los cuerpos receptores, respetando parámetros de calidad de vuelco establecidos por cada normativa provincial.
- f) Toda la actividad de reuso deberá prever la mínima incidencia de los barros generados en el tratamiento, cumpliendo con los parámetros establecidos en cada jurisdicción provincial.

**Artículo 6.-** Las aguas residuales tratadas podrán utilizarse para los usos indicados en el artículo 8 y bajo las condiciones que establezca la reglamentación.

El organismo de aplicación podrá por resolución fundada, autorizar la reutilización del agua en supuestos no previstos en la presente ley y su reglamentación, siempre que se respeten los estándares de calidad aquí establecidos.

Toda autorización de supuestos no previstos será de interpretación restrictiva.-

**Artículo 7.-** En los casos del párrafo segundo del artículo anterior, la Autoridad de Aplicación previa consulta con las autoridades sanitaria y ambiental, deberá expedir una “Declaración de Aptitud Sanitaria Ambiental”, cuya validez no podrá exceder el plazo de seis meses.

**Artículo 8.** Se establecen las siguientes categorías de usos de aguas residuales regeneradas, sin perjuicio de otras que la reglamentación establezca por razones de especificidad de la cuenca o región:

- a) Aguas residuales regeneradas en contacto eventual con las personas, uso urbano
- b) Aguas residuales regeneradas para actividades agrarias y forestales
- c) Aguas residuales regeneradas para uso recreativo
- d) Aguas residuales regeneradas para uso industrial
- e) Aguas residuales regeneradas para uso ambiental

**Artículo 9.-** Queda prohibida la reutilización de aguas residuales regeneradas para:

- a) consumo humano
- b) usos propios de la industria alimentaria
- c) uso en instalaciones hospitalarias u otras similares
- d) cultivo de moluscos u otros organismos filtradores en actividades de acuicultura
- e) uso recreativo como aguas de baño
- f) uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, salvo que cumpla con condiciones físico químicas y bacteriológicas específicas fijadas por reglamentación.
- g) fuentes en espacios públicos o interiores de edificios
- h) cualquier otro uso que la autoridad sanitaria y ambiental considere riesgosa a la salud o que genere perjuicio al ambiente.-

**Artículo 10.-** Autorícense las siguientes actividades vinculadas con el reuso de aguas residuales regeneradas:

- a) Disposición
- b) Recolección
- c) Almacenamiento
- d) Tratamiento
- e) Distribución
- f) Vuelco.

**Artículo 11.-** Las actividades que comprenden el Sistema de Reutilización de Aguas Residuales, descriptas en el artículo 10 de la presente ley, serán promovidas con desgravación impositiva y otras medidas, con los alcances que establezca la reglamentación.-

El Banco de la Nación Argentina establecerá líneas crediticias con tasas preferenciales para financiar los proyectos de inversión para el desarrollo de la infraestructura del sistema reuso de aguas residuales, especialmente destinadas a zonas áridas o semiáridas.-

**Artículo 12.-** A los fines del incentivo de la utilización de las aguas regeneradas, se establecerán por períodos fiscales no menores a cinco años, promociones y/o exenciones tributarias y facilidades financieras para:

- a) Elaboración de planes y propuestas de reutilización
- b) Importación, desarrollo y/o fabricación de tecnología aplicable
- c) Investigación y estudio sobre el reuso
- d) Instalación de plantas de tratamiento
- e) Capacitación y contratación de personal
- f) Adaptación de actuales infraestructuras
- g) Adecuación de las concesiones vigentes

**Artículo 13.-** Las actividades que forman parte de un sistema de reutilización de aguas residuales podrán ser total o parcialmente concesionadas a particulares, conforme las clasificaciones establecidas en el artículo 8 de la presente ley.-

**Artículo 14.-** La Autoridad de Aplicación tendrá las siguientes facultades:

- a) Dictar las medidas correspondientes al reuso de aguas residuales
- b) Fijar los parámetros y estándares ambientales de las aguas residuales para reutilización
- c) Establecer las subcategorías de reuso establecidas en el artículo 8)
- d) Confeccionar un padrón de aguas residuales y regeneradas.

- e) Elaborar planes de promoción del reuso, para el aprovechamiento de aguas residuales y la construcción de sistemas de reutilización de aguas residuales
- f) Suscribir los convenios que se aprueben con las jurisdicciones provinciales
- g) Elaborar programas educativos y de capacitación sobre el reuso de aguas residuales
- h) Implementar protocolos de monitoreo para los casos de reuso de aguas residuales
- i) Coordinar acciones con el Comité Interjurisdiccional de Cuencas Hídricas creado por Ley 25688
- j) Convenir con las provincias y los comité de cuencas la implementación de sistemas de monitoreo e inventarios de actividades de reuso de aguas residuales
- k) Proponer programas de reutilización de aguas residuales tanto para la actividad pública como para el sector productivo.

**Artículo 15.-** La Autoridad de Aplicación dictaminará en todas las cuestiones vinculadas con:

- a) la autorización de reusos no establecidos en la presente ley
- b) fijación de parámetros y estándares mínimos de las aguas reusables
- c) implementación de proyectos interjurisdiccionales

**Artículo 16.-** La Autoridad de Aplicación podrá establecer criterios de incentivos específicos del reuso de aguas residuales, que contemplen la incorporación de los costos de la regeneración, considerando un programa de adaptación del mercado del agua, tal que el agua residual tratada, sea competitiva con la oferta de agua destinada a las actividades productivas.

**Artículo 17.-** La gestión de aguas residuales podrá realizarse a través de la participación privada y/o la creación de cooperativas o consorcios de gestión sean públicos, privados o mixtos, privilegiando la unidad de gestión de todas las etapas de uso del agua, en la misma cuenca.

**Artículo 18.-** La autoridad de aplicación deberá proponer programas de reutilización de aguas residuales tanto para la actividad pública como para el sector productivo.-

**Artículo 19.-** Será pasible de una multa equivalente a 20 sueldos mínimos de la categoría básica inicial de la Administración Pública Nacional y hasta 200 veces su valor y/o clausura del establecimiento en caso de ser persona jurídica, a quien reúse aguas residuales sin el pertinente tratamiento y/o sin autorización de la autoridad de aplicación de la presente ley.-

**Artículo 20.-** Será pasible de una multa equivalente a 30 sueldos mínimos de la categoría básica inicial de la Administración Pública Nacional y hasta 200 veces su valor y/o clausura del establecimiento en caso de ser persona jurídica, a quien reutilice aguas residuales en violación al artículo 9 de la presente ley.-

**Artículo 21.-** Será pasible de una multa equivalente a 40 sueldos mínimos de la categoría básica inicial de la Administración Pública Nacional y hasta 200 veces su valor y/o clausura del establecimiento, a los responsables de las plantas de tratamiento de aguas residuales que incumplan los requisitos de funcionamiento previstos en la presente ley y las reglamentaciones que en su consecuencia se dicten.-

**Artículo 22.-** Invítase a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a las provincias a adherirse a la presente ley.-

**Artículo 23.-** Comuníquese al Poder Ejecutivo.-

## CONTROL ÓPTIMO DE CANALES DE RIEGO MEDIANTE UNA TÉCNICA ESTOCÁSTICA DE OPTIMIZACIÓN GLOBAL

Martorana, Julia V.<sup>1</sup>, Cortínez, Víctor H.<sup>1,2</sup>

1: Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional - 11 de Abril 461, 8000, Bahía Blanca  
e-mail: jmartorana@gmail.com

2: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)  
Rivadavia 1917, 1033, Capital Federal  
e-mail: vcortine@frbb.utn.edu.a

**Palabras claves:** Canales, Coeficiente de rugosidad, Control, Optimización, Compuertas.

**Resumen.** *En el presente trabajo se propone una metodología para el manejo óptimo de las compuertas de canales de riego. Se trata de un enfoque de control óptimo basado en la combinación de un simulador de las ecuaciones de Saint Venant con un método de optimización denominado “Método de Recocido Simulado”. La misma metodología se utiliza para la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning. Se presentan algunos ejemplos para mostrar la eficiencia del enfoque propuesto.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de irrigación a cielo abierto, las pérdidas por distribución y transporte se producen en parte por infiltración y evaporación, y también por operaciones de control ineficientes. La razón de tal derroche es la dificultad para suministrar cantidades de agua en forma precisa, en el tiempo adecuado para cada toma. Esto se debe a la incomprensión de los regímenes hidráulicos transitorios que se suscitan por los movimientos de las compuertas en los canales. En efecto, los canales de riego funcionan a gravedad por lo que para suministrar agua desde una toma hacia una granja, el tirante debe ser adecuado. Si ello no se consigue, debe disminuirse o aumentarse la apertura de la compuerta ubicada corriente abajo modificando así las condiciones hidráulicas.

Entonces, la clave para el adecuado manejo de compuertas es la predicción precisa de tales condiciones hidráulicas transitorias. La simulación computacional basada en un modelo hidrodinámico apropiado, se ha convertido en una técnica de gran ayuda para establecer la estrategia de operaciones de compuertas de un canal de riego. De esta manera se evitan importantes pérdidas de agua y sus efectos colaterales (salinización de suelos, rotura de canales, falta de agua en alguna toma y exceso en otras, etc.)

La dinámica de un canal de irrigación puede ser descripta matemáticamente mediante las ecuaciones de Saint Venant. Tal modelo se expresa mediante dos ecuaciones diferenciales parciales: la ecuación de continuidad (conservación de la masa) y la ecuación de movimiento (segunda ley de Newton). Para poder resolver tales ecuaciones debe hacerse uso de métodos numéricos. Entre los métodos más utilizados pueden mencionarse el método de diferencias

finitas, en particular, el esquema de Preissmann (1960) [1-2] y el método de los elementos finitos. [3]

Por otra parte, el control de canales puede ser efectuado en forma manual o automática. En función de estas posibilidades y de otras particularidades técnicas, es posible formular matemáticamente los objetivos perseguidos en la distribución del agua (que en general se relaciona con el mantenimiento de niveles constantes en ciertos puntos del canal), así como sus restricciones físicas. Luego es posible utilizar los modelos hidrodinámicos para analizar diferentes escenarios de operación y seleccionar las estrategias que más se acerquen al cumplimiento de los objetivos establecidos.

El problema de control de canales formulado corresponde a un problema de optimización dinámica que en principio tiene como finalidad establecer los controles, en este caso, los movimientos de compuertas, como una función del tiempo en pos de cumplir los objetivos estipulados. La solución intuitiva de tal problema así como el uso de enfoques tipo prueba y error presentan el riesgo de conducir a estrategias no óptimas involucrando costos computacionales elevados.

Para simplificar el diseño de la estrategia de manejo óptimo de compuertas, en este trabajo se propone un enfoque basado en la combinación de un simulador de las ecuaciones hidrodinámicas gobernantes con una técnica de optimización denominada “recocido simulado” en analogía al proceso de enfriamiento de metales.

Tal enfoque de control permite determinar de manera automática la manera óptima (o cuasi óptima) de efectuar los movimientos de compuerta a efectos de cumplir objetivos, tales como permitir ciertos tirantes adecuados en lugares y tiempos pre-establecidos por necesidades de riego.

El aludido enfoque puede ser utilizado tanto en régimen estacionario como transitorio. El éxito de esta metodología de control óptimo está supeditada a cuan bien la realidad sea representada por el modelo matemático. Esto depende en general de los valores que adoptan varios parámetros del modelo que no siempre son conocidos de antemano con suficiente precisión. Ejemplos de tales parámetros son los coeficientes de rugosidad. Entonces antes de proceder al diseño computacional de manejo del canal es necesario obtener tales parámetros de manera tal que se reproduzcan mediante el modelo computacional los valores medidos. Tal proceso se denomina calibración-verificación [4]. En este trabajo, tal proceso es realizado básicamente con el mismo enfoque descrito para control óptimo aunque usando en tal caso una función objetivo que mide la diferencia en un sentido de mínimos cuadrados entre valores de la profundidad en diferentes puntos del canal medidos en forma directa contra valores determinados computacionalmente..

Consecuentemente, en este trabajo se presentan de manera unificada tres problemas involucrados en la determinación de la operación óptima de compuertas: a) la determinación de los coeficientes de rugosidad (calibración de las ecuaciones de Saint Venant), b) la determinación de apertura de compuertas de un canal en régimen de flujo estacionario necesaria para entregar determinados caudales en canales de derivación laterales, y c) La forma de movimiento adecuada para lograr los valores determinados en (b), a los efectos de minimizar las perturbaciones hidrodinámicas. La metodología propuesta se implementó computacionalmente en el ambiente de programación MATLAB. Se muestra que tal enfoque resulta preciso y a la vez eficiente desde el punto de vista computacional.

## 2. ECUACIONES GOBERNANTES

La dinámica de un canal de irrigación puede describirse matemáticamente mediante el sistema de ecuaciones para flujo unidimensional no permanente de aguas superficiales (ecuaciones de Saint Venant). Este sistema está formado por dos ecuaciones diferenciales parciales. Una de ellas corresponde a la ecuación de continuidad (conservación de la masa):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Y la otra es la ecuación de momento (segunda ley de Newton) dada por

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f - gAS_0 = 0 \quad (2)$$

donde  $A(x,t)$  es la sección del canal ( $m^2$ );  $Q(x,t)$  es el caudal ( $m^3/s$ );  $y(x,t)$  es la profundidad del flujo (m);  $S_f$  es la pendiente de fricción;  $S_0$  es la pendiente de fondo del canal;  $x$  es la distancia a lo largo del canal (m); y  $t$  es el tiempo (s). La pendiente de fricción,  $S_f$  está dada por la ecuación de Manning:

$$S_f = \frac{n^2 Q^2 P^{4/3}}{A^{10/3}} \quad (3)$$

donde  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning y  $P$  es el perímetro mojado de la sección (m). Las condiciones iniciales están dadas por:

$$y(x, 0) = y_0(x); \quad Q(x, 0) = Q_0(x) \quad (4)$$

Además, se requiere de dos condiciones de borde.

### 2.1. Ecuación de compuertas transversales y laterales

Las condiciones de borde del canal a estudiar están representadas por dos compuertas esclusas. Estas condiciones se representan mediante las siguientes expresiones:

$$q_{C_1}(0) = C_D^u b^u \sqrt{2g(H^u - h(0))} \quad q_{C_3}(L, t) = C_D^d b^d \sqrt{2g(h(L) - H^d)} \quad (5)$$

donde  $q_{C_i}$  es el caudal que pasa por la compuerta por unidad de ancho del canal;  $C_D$  es el coeficiente de la compuerta;  $b$  es la apertura de la compuerta y  $H$  es la profundidad del flujo afuera del canal. Los superíndices  $u$  y  $d$  indican aguas arriba y aguas abajo respectivamente. Además, la compuerta transversal intermedia y los vertederos laterales están representados respectivamente mediante las siguientes ecuaciones:

$$q_{C_2}\left(\frac{L}{2}\right) = C_D b_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad q_{L_{1,2}}(x_{1,2}) = C_V \sqrt{2g(h(x_1) - p)}^{3/2} \quad (6)$$

donde  $h_1$  y  $h_2$  son los tirantes aguas arriba y aguas abajo de la compuerta intermedia;  $h(x_1)$

es la profundidad de flujo en la progresiva del vertedero lateral,  $C_V$  es el coeficiente de vertedero y  $p$  es la altura del vertedero.

### 3. OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE COMPUERTAS

El problema del diseño de la estrategia óptima de manejo de compuertas se plantea como la sucesión de tres tareas: a) calibración del modelo hidrodinámico (identificación de los coeficientes de rugosidad), b) determinación de las aperturas de compuertas óptimas para los estados estacionarios deseados y c) estimación del movimiento adecuado para obtener las aperturas establecidas en el paso anterior a los efectos de minimizar las fluctuaciones en el caudal entregado. Las tres tareas se plantean mediante problemas de optimización.

#### 3.1. Identificación de los Coeficientes de Manning

Esta tarea se formula como una optimización no lineal, siendo el coeficiente de rugosidad ( $n$ ) la variable a determinar. La función objetivo se plantea como el error cuadrático medio entre los valores estimados y los valores medidos de tirante de flujo. Esto es:

$$F(Q_t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^M \left( \frac{y_s(Q_t, D) - y_m(Q_t, D)}{y_m(Q_t, D)} \right)^2}{a \cdot M}} \quad n_t = \operatorname{argmin} F(Q_t) \quad (7)$$

donde  $y_s$  es el tirante estimado (mediante la solución de las ecuaciones 1 a 6) en diferentes puntos de medición;  $y_m$  es el tirante observado en los puntos análogos,  $a$  es la cantidad de estaciones de medición y  $M$  es la cantidad de mediciones temporales.

El problema así formulado corresponde a uno de variables continuas. Sin embargo, con el fin de reducir los costos computacionales de los experimentos numéricos se discretizó el conjunto de posibles soluciones generadas por el método de optimización. De esta forma quedó determinado un conjunto acotado ( $n_{\min} = 0,008$ ;  $n_{\max} = 0,070$ ) y discreto. La cantidad de puntos se eligió de tal manera que entre dos valores consecutivos la diferencia entre tirantes no fuese apreciable. Los valores “experimentales” fueron obtenidos resolviendo las ecuaciones gobernantes (1) y (2) para valores de rugosidad adoptados como los coeficientes reales del canal. Los correspondientes datos de tirantes y caudales simulados se utilizaron luego en el modelo de optimización para estimar los coeficientes.

### 3.2. Optimización de aperturas de compuertas en régimen estacionario

Para realizar la entrega de agua según demandas específicas es necesario controlar el caudal del canal mediante el movimiento de las compuertas. Esto requiere que se consigan determinados tirantes de agua para derivar los caudales requeridos por los vertederos laterales. La identificación de las aperturas de compuertas necesarias para incrementar el caudal en las derivaciones laterales manteniendo constante el caudal de salida aguas abajo constituye un problema común de control y cuya solución no es trivial.

Para resolver este problema planteado, en principio deben determinarse la apertura inicial y final de las compuertas. Para esto es posible calcular las posiciones de las compuertas resolviendo secuencialmente la ecuación de compuerta aguas abajo, la ecuación de flujo gradualmente variado y la ecuación de compuerta aguas arriba.

Este problema se formula como una optimización cuyas variables a determinar son las aperturas de las compuertas intermedia y final del canal. En este caso, la función objetivo se plantea como el error cuadrático entre los valores de caudales necesarios en las derivaciones laterales y los valores de caudales laterales obtenidos con las distintas aperturas de compuertas.

$$G(b_t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_s(x_i) - Q_m(x_i)}{Q_m(x_i)} \right)^2}{a}} \quad b_t = \text{argmin } G(b_t) \quad (8)$$

donde  $Q_s$  es el caudal en los vertederos laterales;  $Q_m$  es el caudal lateral necesario y  $a$  es la cantidad de salidas laterales.

### 3.3. Optimización de aperturas de compuertas en régimen transitorio

En este caso se estudia la sucesión de movimientos de compuertas necesaria para producir los incrementos de caudales laterales a partir del estado inicial hasta el estado final determinados anteriormente, tratando de minimizar las fluctuaciones de los caudales derivados. Con el fin de establecer un esquema de movimiento manual, el período total de movimiento de compuertas se divide en intervalos de apertura constante, cuyas alturas serán las incógnitas a determinar. La cantidad de intervalos corresponde a la cantidad de movimientos realizados sobre cada compuerta.

Este problema se formula como una optimización cuyas variables a determinar son las aperturas sucesivas necesarias para aumentar el caudal derivado por los vertederos laterales. La función objetivo se plantea como el error cuadrático medio entre los valores de caudales laterales necesarios y los valores obtenidos con cada serie temporal de aperturas de compuertas. Es decir:

$$H(q_t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \left( \frac{Q_s(t, j) - Q_m(t, j)}{Q_m(t, j)} \right)^2}{a \cdot M}} \quad q_t = \text{argmin } H(q_t) \quad (9)$$

donde  $Q_s$  es el caudal en las salidas laterales;  $Q_m$  es el caudal observado los puntos análogos,  $a$  es la cantidad de vertederos laterales y  $M$  es la cantidad de mediciones temporales de caudales laterales.

#### 4. METODO DE SOLUCIÓN

La solución de los problemas de optimización formulados (7, 8, 9) requiere la simulación de numerosos escenarios hidrodinámicos. Para ello, las ecuaciones 1 a 6 se resuelven numéricamente haciendo uso del un método de diferencias finitas conocido como esquema de Preissmann [1-2].

La selección de los valores de diseño óptimos de los problemas enunciados se realiza a través del método de recocido simulado. Ésta es una técnica heurística de optimización combinatoria basada en la generación aleatoria de soluciones factibles cuya principal característica es evitar la convergencia local en problemas de gran escala.

El algoritmo para el problema de optimización comienza fijando un valor inicial aleatorio como solución posible y, a partir de éste, genera nueva soluciones Para cada iteración, el algoritmo evalúa si el valor de la función objetivo correspondiente a ese punto produce un valor menor que el anterior. El punto es aceptado como nueva solución, si minimiza la función objetivo. Si no lo hace, su aceptación queda determinada por una distribución probabilística [6-7].

#### 5. RESULTADOS NUMÉRICOS

##### 5.1. Calibración

Se estudia el comportamiento en un canal natural de sección trapezoidal con pendiente lateral 1H:1V y base de fondo de 1.5 m. La longitud de del canal es de 4600 m y la pendiente longitudinal tiene un valor de 0.0004. Las condiciones iniciales del flujo se asumen como conocidas. Como condición de borde aguas arriba del canal se elige un hidrograma de entrada. La variación de  $Q$  con respecto al tiempo está dada por la siguiente ecuación:

$$Q(t) = Q_b + (Q_p - Q_b) e^{-\frac{0.5(t-t_p)}{t_g-t_p}} (t-1) \left(\frac{0.5}{t_p}\right)^{\frac{t_p}{t_g-t_p}} \quad (10)$$

donde  $Q_b$  es el caudal inicial (3,32 m<sup>3</sup>/s);  $Q_p$  es el caudal pico (6 m<sup>3</sup>/s);  $t_p$  es el tiempo del pico (8 hs) y  $t_g$  es el tiempo del centroide del hidrograma (10 hs). Como condición de borde aguas abajo se impuso un vertedero. Se obtuvieron datos de tirantes cada media hora y distribuidos espacialmente cada mil metros aproximadamente. El canal se dividió en cuatro tramos con coeficientes de rugosidad diferentes. Los valores de los coeficientes reales son:  $n_{r(1)}=0.016$ ;  $n_{r(2)}=0.0024$ ;  $n_{r(3)}=0.032$  y  $n_{r(4)}=0.040$ . La distribución de los mismos a lo largo del canal se muestra en la Figura 1. Los valores iniciales de los mismos para el modelo de optimización son iguales a  $n_{min}$ .

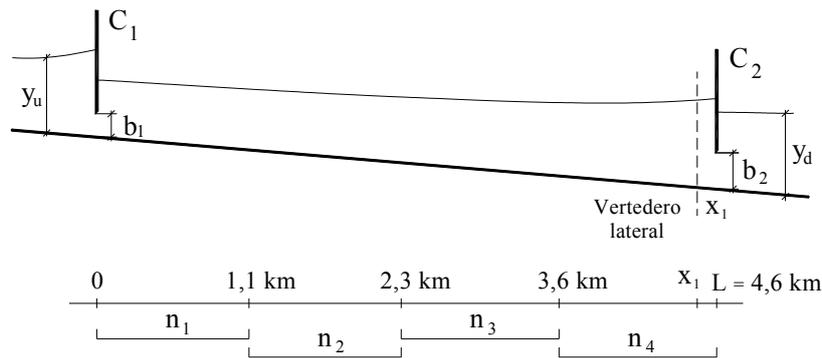


Figura 1: Distribución de los coeficientes de rugosidad y la salida lateral del canal

Se estimaron los coeficientes de rugosidad realizando mediciones de tirantes en cuatro, tres, dos y un punto del canal. Los resultados muestran que la precisión de la identificación disminuye a medida que decrece la cantidad de estaciones de medición. El error calculado mediante la expresión [11] es del 2% en el caso de los coeficientes determinados con cuatro mediciones y alrededor del 40% cuando se determinan con datos de un solo punto de medición.

$$e_{n_i}(\%) = 100 \frac{|n_i(t) - n_r(t)|}{n_r(t)} \quad (11)$$

Por otra parte se estudió la identificación de los coeficientes tomando mediciones de tirantes y de caudales. La Tabla 1 muestra los coeficientes obtenidos de esta forma midiendo sólo en dos puntos del canal. Además se muestra el aumento de precisión en la identificación cuando se introducen errores en las mediciones. Es posible observar que aún para un error de medición del 10%, se obtienen adecuadamente valores de coeficientes de rugosidad, con diferencias máximas del orden de 7% con respecto a los coeficientes reales.

Datos	y		y + Q		y (e= 5%)		y + Q (e= 5%)		y (e= 10%)		y + Q (e= 10%)	
	n	e1 (%)	n	e1 (%)	n	e1 (%)	n	e1 (%)	n	e1 (%)	n	e1 (%)
3 km	0.0080	50	0.0158	1.3	0.0196	22.5	0.0158	1.3	0.0196	22.5	0.0158	1.3
	0.0274	2.1	0.0274	2.1	0.0274	14.2	0.0235	2.1	0.0274	14.2	0.0235	2.1
4 km	0.0313	2.2	0.0313	2.2	0.0351	9.7	0.0313	2.2	0.0313	2.2	0.0313	2.2
	0.0390	2.5	0.0390	2.5	0.0506	26.5	0.0390	2.5	0.0468	17	0.0429	7.3

Tabla 1: Identificación de n a partir de la medición de tirantes y caudales.

## 5.2. Optimización de aperturas de compuertas en régimen estacionario

Se estudió el comportamiento del canal analizado en la sección anterior. El vertedero lateral está ubicado 1m aguas arriba de la compuerta final (Figura 1).

Se presupone que en el estado inicial el canal se encuentra en un estado estacionario conocido. El estado final se plantea con el objetivo de lograr incrementos requeridos de caudal en la salida lateral del canal manteniendo constante el caudal aguas abajo. El incremento de caudal necesario para generar este aumento se obtiene mediante el movimiento

de la compuerta aguas arriba  $b_1$ . El incremento de caudal lateral demandado se muestra en la Tabla 2. El caudal aguas abajo del canal se mantiene constante ( $Q_n = 0,5 m^3/seg$ ). Los valores de aperturas de compuertas obtenidos mediante optimización se muestran en la Tabla 3. El error mostrado en esta tabla está calculado mediante la ecuación (12).

$$e_i(\%) = 100 \cdot \frac{|Q_{l_{nec_i}} - Q_{l_{obt_i}}|}{Q_{l_{nec_i}}} \quad (12)$$

Donde  $i = 1, 2$ .

Estado	Q nec. (m <sup>3</sup> /s)	Q obt. (m <sup>3</sup> /s)	error (%)	Aperturas (m)	
	Q <sub>l1</sub>	Q <sub>l1</sub>	e <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
Inicial	0.700	0.697	0.429	0.147	0.243
Final	1.200	1.194	0.500	0.214	0.209

Tabla 2: Aperturas de compuertas para el canal de dos tramos en régimen estacionario.

### 5.3. Optimización de aperturas de compuertas en régimen transitorio

En este caso se estudió la sucesión de movimientos de compuertas necesaria para minimizar la fluctuación de los caudales derivados durante el incremento de los mismos. Para esto se realizaron estudios con series de movimientos de distintas duraciones totales y distinta cantidad de movimientos la compuerta. En particular, se preseleccionó la cantidad de 3 maniobras de compuerta y se analizaron las duraciones de movimiento 0,5hs, 1h, 1,5hs, 2hs y 3hs. En la Tabla 3 se pueden observar los resultados obtenidos. El error mostrado como  $e_c(\%)$  corresponde al calculado mediante la siguiente expresión:

$$e'(i, j) = 100 \cdot \frac{|Q_{l_{nec}(i, j)} - Q_{l_{obt}(i, j)}|}{Q_{l_{nec}(i, j)}}; \quad e_c(i) = \frac{\sum_{j=1}^M (e)}{M} \quad (13)$$

donde  $i = 1, 2$ ,  $j = 1, \dots, M$  y  $M$  es la cantidad de mediciones temporales de caudales. La última columna muestra el valor del área bajo la curva que forma el error  $e'$ .

Tiempo total	Movimientos			Func. Obj.	e <sub>c</sub> (%)	Área error
	1ro	2do	3ro			
0.5hs	10' 0.100	20' 0.010	30' 0.209	7.82E-02	2.78	4.31E+02
1h	20' 0.010	40' 0.010	60' 0.209	6.22E-02	2.21	2.44E+02
1,5hs	30' 0.010	60' 0.050	90' 0.209	5.36E-02	1.76	2.36E+02
2hs	40' 0.010	80' 0.095	120' 0.209	5.43E-02	1.68	1.67E+02
3hs	50' 0.010	100' 0.180	150' 0.209	5.50E-02	1.7	1.65E+02

Tabla 3. Movimientos de compuertas en régimen transitorio

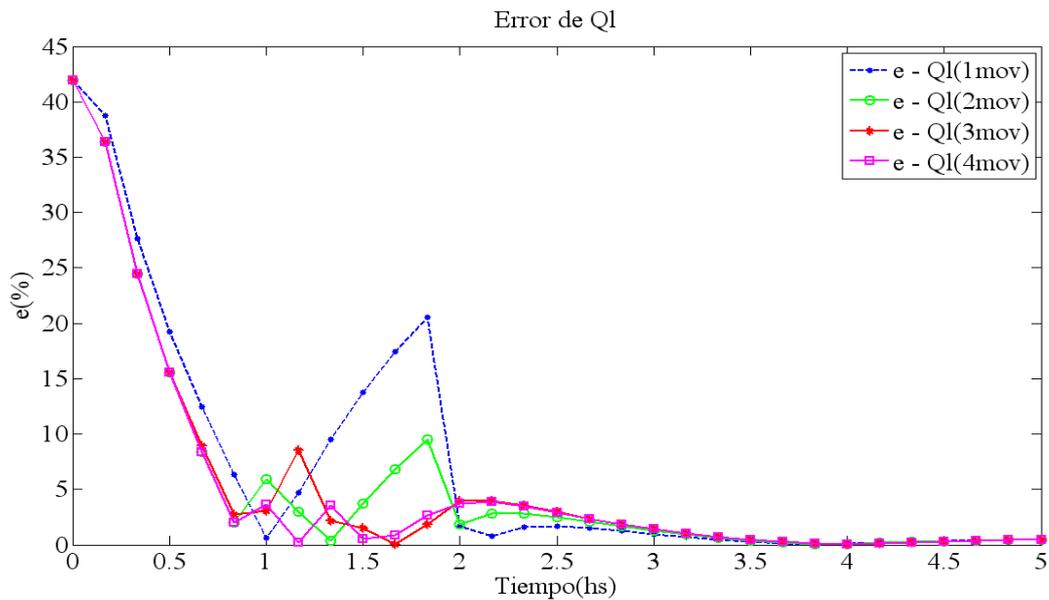


Figura 2. Error obtenido según las maniobras de compuerta

En la Tabla 3 se puede observar que si fuese viable desde el punto de vista práctico la realización de 3 maniobras, la duración que provoca menos fluctuación de caudales laterales, es 2hs. Luego, consecuentemente para esta duración de movimiento, es posible determinar la cantidad de maniobras que producen menos fluctuaciones en el caudal derivado. La Figura 2 muestra el error que se produce en movimientos de compuerta de 2hs de duración, cuando se llevan a cabo 1, 2, 3 y 4 maniobras. De este análisis surge que la cantidad de maniobras óptima es 4.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se propuso una metodología para el diseño óptimo de estrategias de operación de compuertas en canales de riego. Se establecieron tres tareas fundamentales para ello: a) la identificación de coeficientes de rugosidad, b) la determinación óptima de aperturas de compuertas de manera tal de obtener estados estacionarios adecuados para una provisión de agua solicitada en extracciones laterales, y c) la sucesión de maniobras que minimicen las fluctuaciones en los caudales solicitados.

Las tres tareas se formularon como problemas de optimización. Los mismos fueron exitosamente resueltos a partir de una combinación de un método de optimización global denominada “Método de recocido simulado” y la solución aproximada por diferencias finitas de las ecuaciones que describen la dinámica de canales.

La metodología puede ser fácilmente extendida para analizar situaciones más complejas tales como el control de sistemas de canales y la implementación de diferentes esquemas de control automático tales como PID.

## AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se ha realizado en el marco del proyecto “Modelos Matemáticos en Ingeniería Ambiental: Problemas Directos e Inversos” CIMTA, Universidad Tecnológica Nacional). Asimismo forma parte del trabajo de tesis desarrollado por J.V. Martorana, bajo la dirección del Dr. V.H. Cortínez, para obtener el título de Mg. en Ingeniería en el Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur.

## REFERENCIAS

- [1] Chanson H., *Environmental Hydraulics of Open Channel Flows*, Elsevier Butterworth Heinemann, (2004).
- [2] Ding Y., Wang S.S.Y., “Optimal Control of Open-channel Flow Using Adjoint Sensitivity Analysis”, *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 132, pp. 11, (2006).
- [3] Keuning D.H., “Application of Finite Element Method to Open Channel Flow”, *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 102:459-467, HY4, (1976).
- [4] Ramesh R., Bithin Datta, “Optimal Estimation of Roughness in Open-Channel Flows”, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 126, (4), 200.
- [5] Sanders B., Katopodes N., “Control of Canal Flow by Adjoint Sensitivity Method”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 125, 5, (1999).
- [6] V. H. Cortínez, M.E. Sequeira y M. C. Vidal “Identificación de fuentes de ruido en ambientes urbanos industriales”, *Contaminación Atmosférica en Argentina (Eds. E. Puliafito y N. Quaranta)*, Universidad Tecnológica Nacional, (2009).
- [7] Yang W.Y., *Applied numerical Methods using MATLAB*, Wiley-Interscience (2005).
- [8] Yost S.A., Katopodes N.D., “Global Identification of Surface Irrigation Parameters”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 124, 3, (1998).

## ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA PRODUCTO DE LOS PROCESOS MINEROS: IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA

Milín, Erica M.\* ; Quiroga, Silvia ; Capati, Nicolás ; Tempestilli, Federico; Viegas, Leonardo; Zakhem, Yamila

1. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. Facultad Regional Buenos Aires.  
e-mail:ericamilin@yahoo.com

**Palabras claves:** Minería, Simulación Dinámica, Calidad del Agua, Contaminación

**Resumen:** *El siguiente es un trabajo de simulación dinámica que se centra en el estudio de la calidad del agua utilizada en los procesos mineros. El objetivo del trabajo es mostrar la incidencia del proceso en la contaminación del agua. Para realizar la ponderación de la calidad del agua se empleó el ICG, un índice utilizado mundialmente para la obtención de un valor representativo de la misma. Para la simulación se empleó la metodología de Avance del Tiempo a Intervalos Constantes con  $\Delta t = 1$  día, representando así la actividad minera diaria. Se plantearon diferentes escenarios, donde se visualiza las diferencias entre lo legalmente aceptable y lo que realmente sucede. Los resultados relevados muestran la baja calidad del agua obtenida luego de la intervención de la minería, en comparación con lo esperado si se aplicaran las leyes vigentes. Así también, es notable la poca cantidad de agua que retornan. A través de la simulación se permite observar (y alertar) sobre los efectos que produce (y producirá) esta actividad. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de la situación, que permite arribar a la siguiente conclusión: en caso de continuar a éste ritmo, no solo quedaría comprometida la calidad sino también la disponibilidad del propio recurso.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida. Un prerrequisito para el desarrollo sustentable debería ser el asegurar que arroyos, ríos, lagos y océanos, se encuentren libres de contaminación.

Lamentablemente, la ley y la tecnología para la protección de este recurso vital está aún muy lejos de ser perfecta.

La actividad humana amenaza constantemente las fuentes de agua de las que todos dependen para existir. De hecho, el agua ha sido llamada “el accidente más común de la minería”.

El cambio en la legislación argentina facilitando las inversiones en explotaciones mineras, comenzado en los años ‘90, sumado a la suba del precio internacional del oro ha generado un ámbito muy favorable para este tipo de emprendimientos en el país. Este hecho provoca una creciente preocupación por los impactos de estas actividades sobre el medio ambiente y la sociedad.

A pesar de que existe mayor conciencia acerca del problema ambiental de las actividades mineras, este ha sido subestimado en cuanto a sus implicaciones ambientales. El precio a

pagar por el uso diario de minerales ha sido en ocasiones demasiado alto. La naturaleza de la minería incluye el consumo, el desvío y posiblemente la contaminación seria de las fuentes de suministro de agua. Los cambios en la legislación, en la tecnología y en las actitudes, han comenzado a reconocer algunas de las amenazas más inmediatas, impuestas por la explotación de minerales. Sin embargo, aun existen muchas áreas donde las practicas mineras y las regulaciones necesitan ser revisadas.

Los impactos negativos pueden variar desde la sedimentación causada por la construcción descuidada de caminos durante las exploraciones, hasta la sedimentación y alteración de la calidad del agua durante la construcción de las minas. Esta contaminación del agua a causa de los desperdicios, podría necesitar recibir tratamiento durante décadas, si no es que por siglos, después de cerrar las minas. Este impacto depende de una variedad de factores, tales como la sensibilidad del terreno local, la composición de los minerales que están siendo minados, el tipo de tecnología empleada, las habilidades con que se cuenta, el conocimiento y el compromiso ambiental de la compañía, y finalmente, la habilidad gubernamental para monitorear y asegurar la observancia de las normas ambientales.

Por ejemplo, expertos como Osvaldo Canziani<sup>[1]</sup> advierten sobre la falta de mediciones apropiadas de la disponibilidad de agua a partir de glaciares cordilleranos “(los satélites pueden dar idea de la cobertura de nieve y hielo, pero no de sus espesores) que conducirá a un desastre mayor pues, sin el conocimiento de los volúmenes de agua de fusión disponibles no se podrá llevar a cabo el manejo apropiado de este recurso crítico. De todas maneras, habida cuenta de la disminución de los caudales superficiales y subterráneos, la aparición de un nuevo usuario: la minería, incrementará la deficiencia hídrica. Además, este problema será exacerbado por la alta dosis de contaminación del agua, el aire y los suelos que generan las tareas mineras”.

Uno de los principales problemas consiste en que la minería se encuentra altamente mecanizada. Es por ello que ha sido capaz de manejar una mayor cantidad de roca y de minerales en bruto nunca antes vista.

Consecuentemente, los desperdicios mineros se han multiplicado enormemente. Asimismo, la tecnología minera se ha desarrollado para hacer más provechoso el proceso minero del mineral en bruto de baja calidad; la cantidad de desechos generados será por supuesto, mayor en el futuro. Esta tendencia requiere que la industria minera adopte y aplique constantemente prácticas para minimizar el impacto ambiental de la producción de desechos.

La mayoría de la contaminación minera es generada por negligencia, no por necesidad<sup>[2]</sup>. Existen métodos variados para la determinación de calidad de las aguas, como así también las mediciones a realizar, como ejemplo se pueden citar:

La agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) prevé diversos métodos para el control de elementos en el agua, como cianuro, la mayoría de los métodos son mediciones realizadas "en sitio".

Si bien existen numerosos estudios sobre explotación minera y contaminación, algunos ya citados, no existen trabajos específicos de simulación aplicados a este tema, los trabajos de simulación que se realizan actualmente, se basan en simulación de la actividad minera; o bien aplicación de modelos matemáticos para la determinación de los índices de calidad del agua en un momento determinado; no con respecto a la evaluación de la calidad a largo plazo y pruebas de diferentes escenarios.

Con respecto a la contaminación, en general, se encuentran algunas investigaciones que

utilizan la dinámica de sistemas, pero no se han encontrado simulaciones dinámicas aplicadas al estudio de Calidad del Agua producto de la explotación minera, en particular.

Por otro lado, diversos expertos advierten sobre la viabilidad y fiabilidad de los mecanismos actualmente utilizados, se destacan Osvaldo Canziani<sup>[1]</sup>, Javier Rodríguez Pardo<sup>[3]</sup>, Juliette Renaud<sup>[4]</sup>, Eduardo Chaparro Ávila<sup>[5]</sup> e incluso agencias de nivel nacional e internacional, en este aspecto, la dinámica de sistemas (o simulación) aporta otra herramienta más (o un enfoque distinto) para validar resultados obtenidos por otros métodos.

## 2. CONTEXTO

Cerro Vanguardia es la principal mina de oro y plata de vida útil de la Argentina. Está a 150 Km. de San Julián, en Santa Cruz (Ver Figura 1). Su dueña es la multinacional anglo – estadounidense Minorco, la segunda minera del mundo, con participación minoritaria de la estatal provincial Fomicruz.

El yacimiento de oro de Santa Cruz, Cerro Vanguardia, tiene una demanda mensual de agua que oscila entre los 90 y 110 mil m<sup>3</sup> por mes, utilizada para el proceso de explotación minera. Río Gallegos, según datos oficiales recabados en SPSE (Servicios Públicos Sociedad del Estado) demanda alrededor de 36.000m<sup>3</sup> a lo largo del mes. Dicho consumo es constante y es abastecido de acuíferos de arena o arcilla. Además, no se modifica el consumo, por mas que varíe el caudal del acuífero.

El porcentaje del retorno de agua es muy chico. A esto hay que sumarle el estado del agua que devuelven, que a pesar de someterse a un proceso de potabilización (por parte del Ente encargado, no por la minera) no resulta ser óptima para el consumo de cualquier persona.

Este proceso, ya tiene en alerta a muchos especialistas vinculados a la preservación del medio ambiente, ya que advirtió que en muchas regiones, entre ellas una cerca a San Julián, hay graves problemas con la distribución y la calidad de agua que se suministra a la población.

Actualmente sobre la minería de Santa Cruz se abren varios cuestionamientos, entre ellos la utilización de compuestos con cianuro que son depositados en la tierra y en el agua sin que se extremen las medidas de prevención.

Cerro Vanguardia posee un dique de cola de 60 hectáreas (Figura 2) que es perfectamente visible desde el aire y se puede observar en la panorámica que brinda el Google Earth. Sin embargo, en la imagen se advierte como un muro blanco, este enorme piletón que carece de membrana geotérmica y un sellado de hermeticidad, con lo cual los desechos se encuentran en contacto con la tierra ampliando exponencialmente las posibilidades de que estos componentes de residuos altamente tóxicos puedan contaminar los acuíferos subterráneos.

Muchos desechos tóxicos se entregan diariamente a las napas subterráneas durante el proceso de extracción de oro y plata (cianuro, mercurio, ácido sulfúrico, zinc, plomo, etc.), nuestro objetivo fue demostrar como afectan dichos tóxicos utilizados en el proceso, entre otros recursos naturales, al agua que consumen miles de personas.



Figura 1 – Instalaciones Cerro Vanguardia



Figura 2 – Dique de Cola

### 3. ELEMENTOS DEL TRABAJO Y METODOLOGÍA

#### 3.1. Método de cálculo del I.C.G.

El número de variables que pueden ser consideradas para evaluar la calidad o el grado de contaminación de las aguas es demasiado grande para que sea posible en la práctica, examinando la evolución de cada una, adquirir una idea clara de su comportamiento, sea en el ámbito geográfico o temporal.

La finalidad que se pretende con el I.C.G., es deducir un número adimensional, como combinación o función de los datos analíticos de una muestra de agua, que refleje su calidad en orden a su utilización posterior, y que permita su comparación con los que se obtengan, por el mismo algoritmo, de otras muestras, tomadas en distintos lugares o épocas.

La calidad de un agua no es un concepto absoluto. Ha de estar en relación con un uso concreto predeterminado. Las exigencias para el abastecimiento humano, la industria farmacéutica o los usos recreativos son muy diferentes, y por lo tanto los índices de calidad, mejor dicho, el cálculo de los índices de calidad, han de tener en cuenta esta condición previa.

El sistema que se ha elegido para definir el índice de calidad, se basa en el método desarrollado por Provencher y Lamontagne<sup>[6]</sup> de Servicio de Calidad de las Aguas del Ministerio de Riquezas naturales del Estado de Quebec (Canadá). Permite su tratamiento informático y enfoca el problema en su máxima generalidad, de forma que es posible definir

un índice de calidad para cualquier uso posterior, simplemente determinando las especificaciones requeridas a efecto. Su expresión matemática más general es:

$$I = \sum_{i=1}^n F_1(\lambda_i) \times F_2(\lambda_i, n) \quad (1)$$

En la que  $\lambda_i$  son las variables o parámetros analizados,  $n$  el número de parámetros que intervienen en el sumatorio y  $F_1$  y  $F_2$  dos diferentes tipos de funciones que caracterizan la influencia de cada parámetro según el uso previsto para las aguas.

La posibilidad de emplear un determinado tipo de agua para un uso concreto depende de su composición. Es decir, del grado de concentración que el análisis descubre para cada parámetro  $\lambda_i$ .

Pero esta concentración de  $\lambda_i$  influye de modo muy diferente según cuál sea el parámetro. En otras palabras, los valores analíticos no resultan homogéneos, y por lo tanto no puede operarse con ellos directamente.

Y esto no solamente porque no sea posible sumar grados centígrados, con miligramos/litro, o unidades de pH, sino porque su influencia sobre la calidad tampoco es comparable.

Las funciones de equivalencia transforman los resultados analíticos de la muestra en valores adimensionales  $Q_i$  [expresión abreviada de  $F_1(\lambda_i)$ ], de modo que cifras iguales supongan calidades iguales respecto del uso elegido, para cada parámetro  $\lambda_i$ . En definitiva, estas funciones traducen cada valor  $\lambda_i$  del análisis en el nivel de calidad  $Q_i$  que le corresponde, en una gama entre *cero* y *cien*, siendo el valor *cero* el nivel pésimo y *cien* el óptimo, para el uso considerado.

Estas funciones, dadas bajo expresión matemática, o como curvas en una gráfica, han sido definidas cuidadosamente con la colaboración de expertos, puesto que en ellas descansa la fiabilidad del método.

### 3.2. Parámetros y algoritmo de agregación

No es posible, ni conveniente, hacer intervenir en el cálculo de un índice de calidad, los innumerables parámetros que pueden ser analizados en una muestra de agua. Ni siquiera todos aquellos que de manera sistemática se obtienen en los laboratorios.

Respecto del uso prescrito, no todas las características  $\lambda_i$  tienen relevancia. Se incluyen pues tan sólo aquellas que afectan en realidad a su posibilidad de utilización, o sea a lo que hemos llamado su calidad.

Para esta selección de variables analíticas que van a intervenir en el cálculo de un índice, conviene distinguir tres tipos de parámetros:

- a) Aquellos cuya concentración es siempre significativa cualquiera que sea su valor.
- b) Los que solamente afectan a la utilización del agua a partir de una determinada concentración, pero de tal modo que concentraciones menores, o nulas, no suponen una mejor calidad. Es decir, su presencia a partir de un determinado nivel produce un empeoramiento de la calidad del agua, pero no al revés.
- c) Los parámetros que no afectan al uso previsto.

El primer grupo de características serán llamadas variables *básicas* o parámetros de clase  $X$ . El segundo grupo son las variables *complementarias*, o parámetros de clase  $Y$ , y sólo

intervendrán en el sumatorio cuando la  $Q_i$  que corresponda a su concentración sea inferior a 60.

De aquí surge la necesidad de ponderar en cierto modo esta influencia mediante la asignación de pesos a los diferentes parámetros, factor que en la fórmula general corresponde a la función  $F2(\lambda_{j,n})$ , que se denominará abreviadamente  $P_i$ , en lo que sigue.

La función  $F2$  depende pues tanto del tipo de variables que se han seleccionado, como del número de ellas que intervienen en el sumatorio, puesto que las variables de clase  $Y$ , sólo aparecerán en los casos ya indicados.

A fin de que el índice de calidad oscile también entre *cero* y *cien*, se exige que la suma de los coeficientes de ponderación  $P_i$  sea la unidad.

En consecuencia, a cada una de las variables se la asigna "a priori" un coeficiente  $a_i$  de valores comprendidos entre 1 y 4 que mide la influencia relativa de cada uno con el siguiente criterio general:

A = 1	Parámetro muy importante
A = 2	Parámetro de importancia media
A = 3	Parámetro de importancia débil
A = 4	Parámetro dudoso o poco significativo

Tabla 1 – Ponderación de parámetros

El valor  $P_i$  que corresponde a cada variable se calcula mediante la fórmula:

$$P_i = \frac{1/a_i}{\sum_1^n 1/a_i} \quad (2)$$

Por lo tanto será diferente según el número  $n$  de variables que intervienen en el sumatorio, y que es preciso deducir de los valores  $Q_i$  que corresponden a los parámetros complementarios. En resumen, el índice de calidad es una media ponderada de niveles de calidad deducidos, mediante las funciones de equivalencia, de los resultados analíticos, teniendo en cuenta la importancia relativa de cada variable en el uso previsto.

Establecidas las funciones de equivalencia y los coeficientes  $a_i$  de ponderación, el cálculo es programado en ordenador, obteniéndose para una misma muestra de agua, los diferentes índices de calidad según sus posibles utilizaciones.

La media ponderada es un reflejo de las características analíticas de las aguas a través de unos criterios subjetivos que han servido para definir las funciones de equivalencia y los coeficientes de ponderación.

Por lo tanto es necesario precisar que los resultados obtenidos han de examinarse desde las hipótesis de partida, es decir, sin que la calidad pueda calificarse de "buena o mala para algo". Y estos criterios, en contra de la norma general, no han sido uniformes, sino que en unos casos se han basado en "standards" de aguas potables, o en la capacidad de permitir la vida animal o vegetal, en inconvenientes respecto al riego, etc.

Pero esta mezcla ha adquirido su propia justificación en los resultados obtenidos, en su

sensibilidad respecto a las situaciones anormales, en la investigación de aplicaciones prácticas y de sistemas de tratamiento o visualización de los datos.

Para la definición del I.C.G., siglas que corresponden al Índice de Calidad General, se han escogido 14 parámetros. Siguiendo su misma notación, con expresión de su coeficiente ponderal  $a$  y de su cualidad de básicos (x) o complementarios (y).

Parametro	Coefficiente $a$	Tipo
Oxígeno Disuelto	1	x
Materias en Suspensión	1	x
PH	1	x
Conductividad	1	x
DQO	3	x
DBO	1	x
Coliformes Totales	1	x
Sulfatos	2	y
Fosfatos Totales	3	x
Nitratos	3	x
Cianuros	1	y
Mercurio	1	y
Plomo	1	y
Zinc	1	y

Tabla 2 – Componentes a evaluar

Se trata pues de nueve variables básicas y 5 complementarias, con las que se pretende que tanto la toxicidad, como la capacidad de albergar la vida, los fenómenos de eutrofización y determinados compuestos de origen industrial puedan reflejar combinadamente su presencia y tipificar una calidad en la que se conjuntan las contaminaciones, tanto naturales como artificiales.

### 3.3 Escala de calidad

Queda únicamente por matizar el significado del I.C.G. según los diferentes valores que puede presentar, es decir, graduar en palabras la *calidad* que corresponde a cada índice.

Para cualquier tipo de índice, calculado por el método expuesto, y por lo tanto para el I.C.G., es válida la siguiente clasificación. Valores de ICG Calidad del agua

100 – 90	Excelente
90 – 80	Buena
80 – 70	Intermedia
70 – 60	Admisible
60 – 0	Inadmisible

Tabla 3 – Clasificación del Agua

Es conveniente también tener en cuenta, al trabajar con los índices de calidad, que si algún

valor  $Q_i$  resultase *nulo* para un determinado parámetro, el agua es rechazable por ese solo concepto, aunque la media ponderada resultante pudiera tener un valor alto.

Si comparamos los valores del I.C.G. de un grupo de estaciones de control correspondientes a una misma fecha, materializando en un plano sus diferencias, por ejemplo, mediante una gama de colores acorde con la escala de calidades, resultan los mapas de calidad que tienen un indudable interés.

#### 4. DATOS

Los datos fueron obtenidos de diferentes fuentes, para la demanda y consumo diario, se utilizó el Informe Hidrológico presentado en el último año.

Para las características del acuífero y los factores de incidencia, se utilizaron varias fuentes citadas como Greenpeace, Milanium, No-a-las-minas y un diario barrial de ex empleados de la mina<sup>[7]</sup>.

Para realizar el cálculo de las funciones de densidad de probabilidad utilizamos el @risk de Palisade. Con el mismo hemos cargado un juego de datos por cada función que debíamos hallar. Los mismos representan históricos del funcionamiento de la explotación minera. Se tomaron valores históricos de 5 años. Esta decisión se debió a que el yacimiento fue aumentando gradualmente su actividad y hace 5 años continúa aproximadamente dentro de la misma escala. Al momento de validar nuestras funciones de densidad de probabilidad obtenidas realizamos 3 ajustes a cada una, seleccionando para cada caso la que mejor representaba la realidad presentada y mejor se ajustaba con los tres métodos, es decir, se buscó que la función se encuentre entre las primeras en los rankings de cada método de ajuste. Primero ajustamos por Chi Cuadrado, luego lo hicimos por Anderson – Darling y finalmente por Kolmogorov – Smirnov<sup>[8,9]</sup>.

#### 5. SIMULACIÓN DINÁMICA

La Simulación consiste básicamente en construir modelos informáticos que describen la parte esencial del comportamiento de un sistema de interés, así como en diseñar y realizar experimentos con el modelo y, a partir de ellos, extraer conclusiones de sus resultados para apoyar la toma de decisiones<sup>[10,11,12]</sup>.

Aplicación de la Metodología: Para realizar el desarrollo del modelo, correr la simulación, y obtener los resultados del comportamiento del mismo, utilizamos el software Stella iThink 8.0

##### 5.1. Análisis previo

**5.1.1. Metodología:** Avance del tiempo constante.  $\Delta t$ : 1 día.

##### 5.1.2. Clasificación de variables

###### **Variables exógenas no controlables (datos):**

C (conductividad del agua); CoT (coliformes totales en el agua); DBO (demanda biológica de oxígeno); DDA (demanda diaria de agua); FT (fosfatos totales); MS (materias en suspensión); N (nitratos); OD (oxígeno diluido); PH (PH del agua); RDA (retorno diario de agua).

###### **Variables exógenas de control:**

CASPL (cantidad de ácido sulfúrico por litro de agua); CCPL (cantidad de cianuro por litro de agua); CMPL (cantidad de mercurio por litro de agua); CPPL (cantidad de plomo por litro de agua); CZPL (cantidad de zinc por litro de agua).

**Variables endógenas de estado:**

RNA (relación de nivel de agua)

**Variables endógenas de resultado:**

PCAD (promedio de calidad de agua que devuelven); PCAU (promedio de calidad de agua que usan); PRNA (promedio de relación del nivel de agua).

**5.1.3 Eventos: (Propios del  $\Delta t$ )**

Uso del agua - Devolución del agua

**5.2 Diagrama causal**

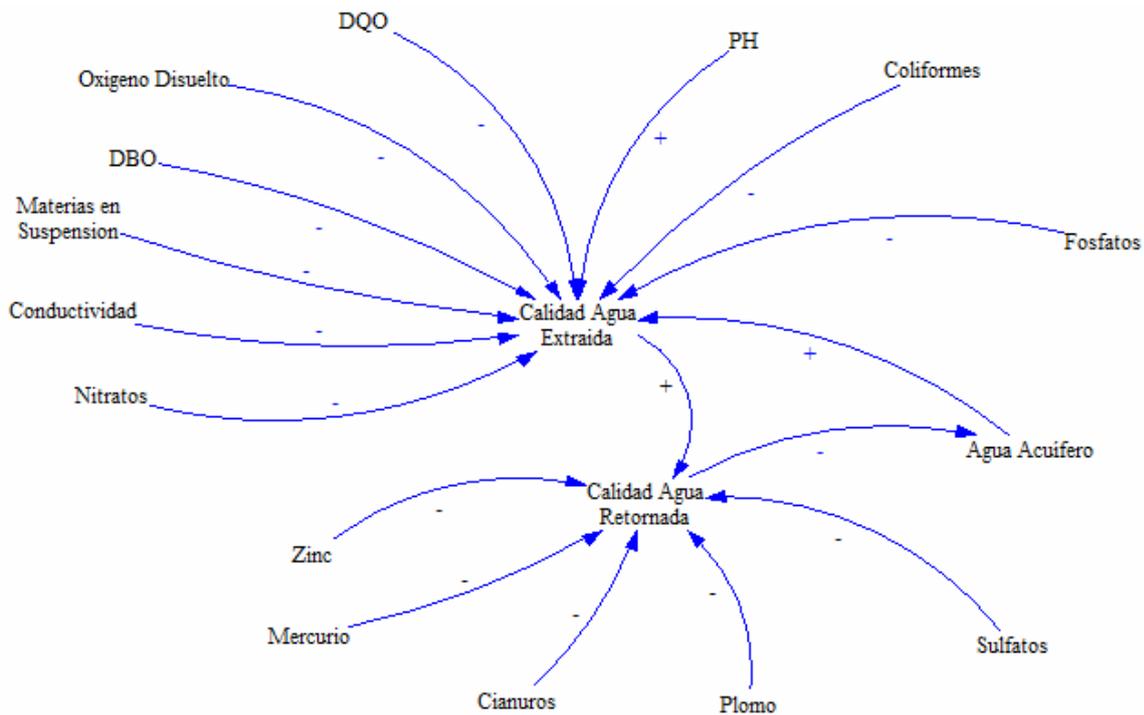


Figura 3 – Diagrama Causal

**6. RESULTADOS**

Si se respetaran las leyes vigentes y el informe hidrológico aprobado, se obtiene un valor de

calidad del agua alrededor de 77, lo que sería una calidad intermedia y apta para el consumo, en cambio, según el funcionamiento actual de la Minera, los valores de la calidad están bastante por debajo de los 60, lo cual es una calidad inadmisible. Haciendo un estudio más profundo de la corrida de la simulación observamos que en sucesivos  $\Delta t$  la calidad estuvo debajo de la línea de los 20.

En cuanto a la relación del nivel de agua, Cerro Vanguardia sólo retorna un 13% aprox. de lo que demanda, si lo proyectamos 10 años es muy probable que éste recurso ya no se encuentre disponible.

En la interfaz del usuario, desarrollada con el Stella 8.0, se presentan 5 recuadros con las variables de control, las que fueron variando a lo largo de las corridas. En el primer gráfico se presenta el promedio de calidad usada y el promedio de la calidad devuelta (figuras 4 y 5). Estos gráficos varían según como se modifiquen los valores de las variables de control. Es importante destacar, que a la hora de realizar éste trabajo, presentamos dos escenarios característicos, pero la idea es perseguir un punto óptimo en el que la diferencia sea la menor posible.

Continuando con lo propuesto, se trata de encontrar el “punto óptimo” evaluando posibilidades de modificar los valores y que guarden alguna relación con la actividad planteada. El mayor problema de hablar de un “punto óptimo”, es que el agua nunca vuelve a ser la de antes y de esta manera sólo se atrasa la actividad desmesurada, que hoy se presenta.

Luego se calcula, en una ventana de tiempo, los metros cúbicos de agua que se pierden en los acuíferos. Y como mencionamos reiteradamente a lo largo del trabajo es un recurso NO RENOVABLE.

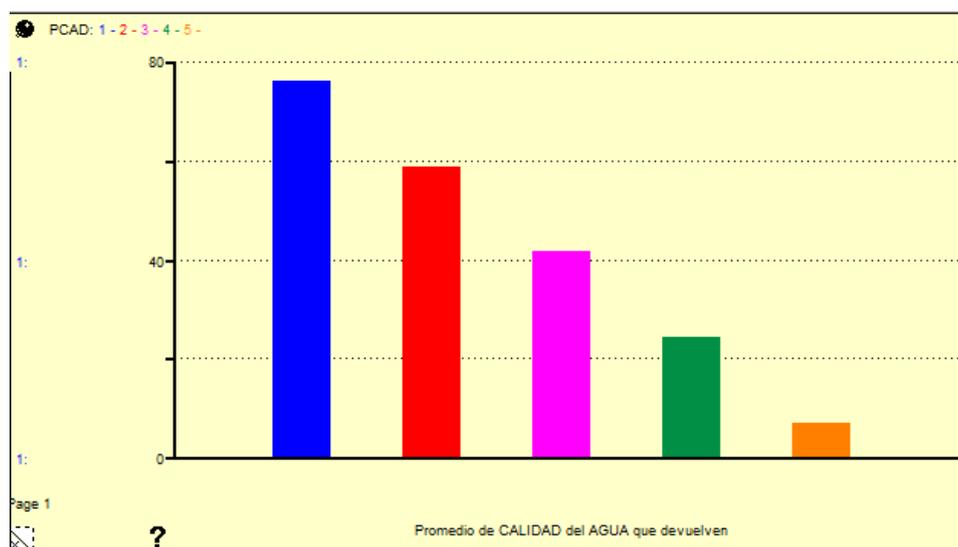


Figura 4 – Gráficas comparativas variando niveles de Cianuro (de 0 a 0,2 pl).

## 7. DISCUSIÓN

Un punto a tener en cuenta, es la dependencia de la calidad con respecto cantidad insumida de cianuro en el proceso de lixivización. En las sucesivas corridas se fue variando el valor de la cantidad de cianuro para proyectar resultados en el caso de empeorar la situación y se obtuvo un panorama muy desalentador; si sólo se aumenta en una décima la cantidad de mg. por litro

de agua el Índice de calidad da 0, aclarando que el valor real de la sumatoria resulta negativo, el rango admisible y de representación del índice está entre 0 y 100.

Lo más notorio fue el cianuro, pero en el caso del plomo y zinc si se aumenta en 1 gramo la cantidad del mismo por litro de agua nuevamente el índice da un valor nulo (Figura 6).

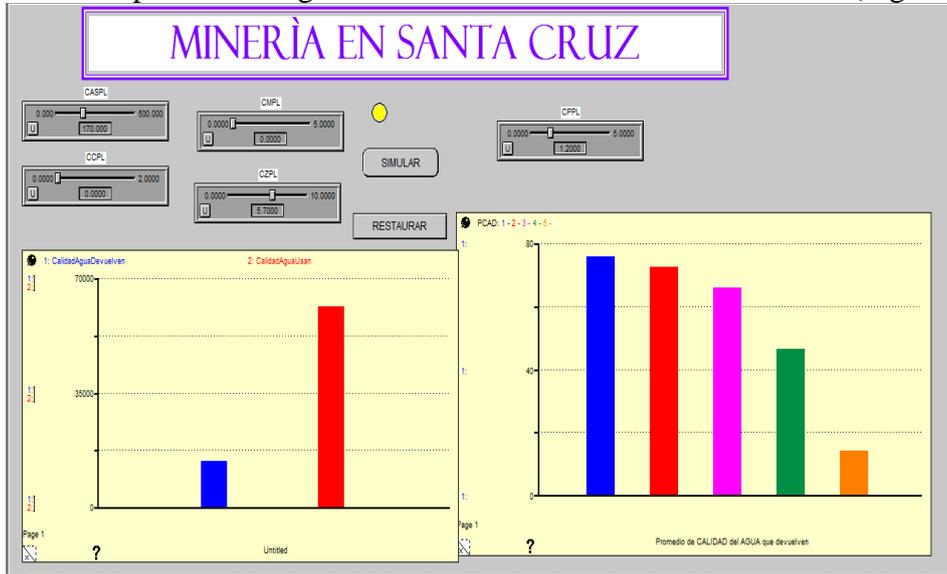


Figura 5 – Gráficas comparativas aumentando niveles de Plomo y Zinc

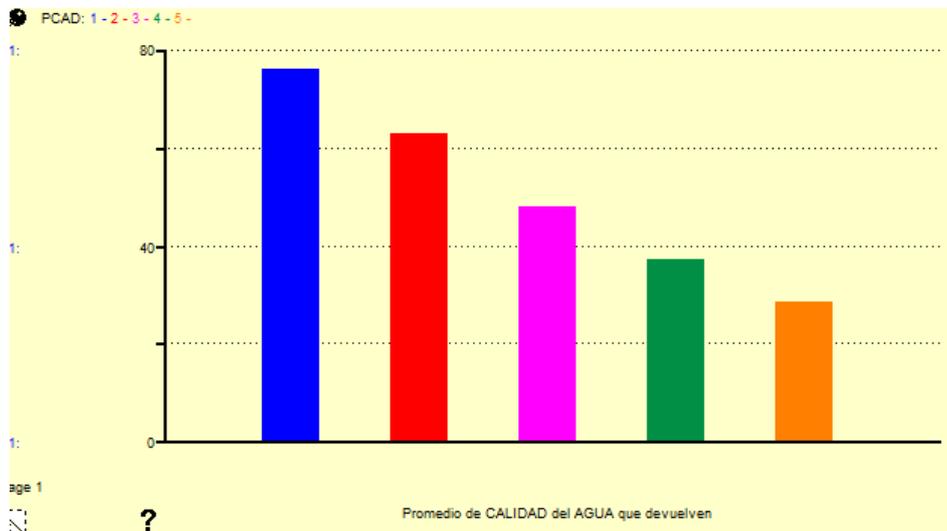


Figura 6– Gráficas comparativas aumentando niveles de Plomo

## 8. CONCLUSIÓN

Por todo lo señalado a lo largo del trabajo, la situación actual de un recurso que escasea en gran parte del mundo y del cual solo se dispone de un 3% para el consumo humano, la explotación de este recurso para la minería, reducirá en forma crítica ese porcentaje. Ahora bien, hasta ahora hablamos de la disponibilidad pero si nos enfocamos en la calidad que el agua tendrá en esos años y los usos que se le podrá dar, nos tendremos que limitar a disponer de un recurso abundado de productos tóxicos, inadmisibles para el consumo y que su ingestión puede acarrear interminables enfermedades para la población local.

**REFERENCIAS**

- [1] Canziani, Osvaldo: *Entrevista a LA NACIÓN*, 01 de Septiembre (2007)
- [2] De Rosa, Carlos; Lyon, James *Sueños dorados, sueños envenenados*. Centro de Política Minera, Washington, D.C. (1997)
- [3] Rodriguez Pardo, Javier: *Vienen por el oro, vienen por todo*. Ciccus. Buenos Aires (2009)  
Carlos de Rosa y James Lyon, "Sueños dorados, sueños envenenados". Centro de Política Minera, Washington, D.C., (1997).
- [4] Renaud, Juliette: *Informe realizado sobre : impacto de la gran minería sobre las poblaciones locales en Argentina*, (2008)
- [5] Chaparro Ávila, Eduardo: *Los procesos mineros y su vinculación con el uso del agua: Políticas para el uso sostenible del agua y prestación eficiente de servicios públicos vinculados a ella. Perspectiva desde cepal/ drni*. Santiago de Chile, abril (2009)
- [6] Provencher, M. y Lamontagne, M.P. *Méthode de détermination d'un indice d'appréciation de la qualité des eaux selon di\_érents utilisations (IQE)*. Ministère des Richesses naturelles. (1977).
- [7] Asamblea de Vecinos Autoconvocados por el NO a la mina : [www.noalamina.org](http://www.noalamina.org)  
Secretaría de Minería de la Nación, *Minería en números*  
<http://www.mineria.gov.ar/pdf/mineriaennumeros.pdf> (2008)
- [8] Alfiero, Gladys; Milin, Erica; Quiroga Silvia: *Utilización de las Variables Aleatorias en los Procesos de Simulación*. UTN – FRBA. Buenos Aires, (1998).
- [9] Cappelletti, Carlos Alberto: *Elementos de Estadística*, Cesarini Hnos. Buenos Aires, (1993).
- [10] Aracil, Javier; Gordillo, Francisco: *Dinámica de Sistemas*, Alianza Editorial S.A. Madrid, (1997).
- [11] Alfiero, Gladys; Milin, Erica; Quiroga Silvia: *Simulación, Apunte Teórico*. UTN – FRBA. Buenos Aires, (2001).
- [12] García, Juan Martín: *Teoría y Ejercicios Prácticos de Dinámica de Sistemas*, Juan Martín García (editor). Barcelona, (2006).

## **ANÁLISIS DE PRIORIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES EN EL TRAMO CONCORDIA-CONCEPCIÓN DEL URUGUAY DEL RÍO URUGUAY**

**Zabalett, Alejandro; Cardini, Julio; Cardini, Cecilia y Oliver, Néstor**

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)  
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803  
e-mail: {zabaleta,cardinij,-,olivern}@frcu.utn.edu.ar,  
web: <http://www.frcu.utn.edu.ar/investigacion/gecru/web/index.htm>

**Palabras Clave:** Tratamiento de efluentes cloacales, Río Uruguay, Contaminación Bacteriológica, Balnearios.

**Resumen.** *Se evaluó la influencia de las principales descargas cloacales e industriales vertidas en el Río Uruguay sobre la concentración de bacterias coliformes fecales en áreas balnearias de las localidades de San José, Colón y Concepción del Uruguay, a fin de establecer prioridades para la construcción de sistemas de tratamiento eficientes de los efluentes. El criterio de clasificación para priorizar las intervenciones es la influencia relativa de cada fuente contaminante, para la obtención del objetivo de mantener los niveles de contaminación bacteriológica en las playas, por debajo de los valores Guía promedio establecidos por la CARU para Uso Recreativo con contacto directo, tanto en el corto como en el largo plazo. Resulta prioritario controlar las descargas sobre la margen del Río Uruguay aguas arriba de Colón, luego debe mejorarse el tratamiento de efluentes de Colón para mejorar drásticamente la calidad de agua en la margen argentina aguas abajo, incluyendo las islas utilizadas por turistas para recreación, y en el balneario Banco Pelay de Concepción del Uruguay. Finalmente, es necesario el tratamiento de los efluentes cloacales de las localidades de Concordia (Argentina) y de Salto (Uruguay), para mejorar las condiciones de calidad de agua en las playas de San José y Colón, eliminando un nivel de base que se acerca al Nivel Guía.*

### **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

El presente trabajo constituye una síntesis de los estudios que se vienen realizando desde hace algunos años respecto de la influencia de los aportes de origen antrópico tanto de la margen argentina como uruguaya al Río Uruguay, y su influencia sobre la calidad del agua del mismo. En particular se ha estudiado el tramo que se extiende desde la Ciudad de Concordia sobre la margen argentina del río, hasta la ciudad de Concepción del Uruguay.

El tramo de estudio presenta una extensión aproximada de 140 kilómetros a lo largo del río, en los cuales se han identificado aquellos aportes cloacales e industriales principales provenientes de las ciudades ribereñas que realizan sus vuelcos al mismo.

Se encuentran incluidas en el tramo de estudio las ciudades de Concordia, San José, Colón, Paysandú y Concepción del Uruguay, las cuales han sido caracterizadas desde el punto de vista de su crecimiento demográfico (a los fines de proyectar la evolución de las descargas en 30 años), características de los servicios de saneamiento básico actuales considerando el estado de los mismos, porcentaje de cobertura, tipo de tratamientos realizados, y características de los vuelcos. A partir de estos datos se procedió a calcular los aportes másicos provenientes de las descargas cloacales.

El principal indicador utilizado para caracterizar contaminación en agua es el número de bacterias coliformes, dado que se distingue fácilmente el área contaminada de los valores naturales del medio. Del mismo modo que para las descargas cloacales, se han analizado los aportes industriales de contaminación al río, en base al tipo de industrias instaladas, capacidad de producción, caudales vertidos, etc. Una vez identificados los aportes y calculados sus aportes másicos contaminantes, se determinaron las ubicaciones puntuales de los sitios de vuelco y fueron incorporadas a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

A los fines de tener un conocimiento más acabado del origen de las concentraciones de vuelco y de las potenciales mejoras factibles de ser propuestas, se realizó un diagnóstico de los sistemas de tratamiento aplicados a los líquidos cloacales. En base a este diagnóstico se pudieron observar las distintas ventajas y desventajas que presentan los tratamientos utilizados actualmente, los cuales se han centrado en el tratamiento biológico mediante lagunas aeróbicas, anaeróbicas y/o facultativas. A partir de las características de los tratamientos y de la estimación de la carga másica de los vuelcos finalmente obtenidos, se ha puesto en evidencia su nivel de eficiencia real.

Simultáneamente se realizó la recopilación, carga en el SIG y análisis de los muestreos realizados durante el período 1991 – 2001 por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU). La caracterización de la calidad del agua se realizó en base a cada uno de los parámetros determinados, los estándares establecidos por la CARU y luego por los límites del Decreto de Montevideo N° 253/79 y el Decreto Nacional N° 831/93. Se realizó además una caracterización espacial y temporal de la contaminación bacteriológica en relación a los niveles recomendados por CARU y por la legislación nacional para distintos usos.

Con el objetivo de utilizar toda la información recopilada y analizada para el desarrollo de un modelo matemático de predicción de la dispersión de la contaminación en la zona de estudio, se realizaron muestreos complementarios en áreas específicas que permitieron conocer en mayor detalle la distribución transversal de la contaminación. A partir de los resultados de estos muestreos específicos se definieron zonas de especial interés para la modelación, en base a aquellos sitios que mostraron valores altos de concentración de coliformes fecales.

Mediante la operación de un modelo hidrodinámico unidimensional (MIKE 11) se calcularon los niveles y caudales del río utilizados como condiciones de borde para efectuar simulaciones con el modelo bidimensional hidrodinámico (RMA2). Éste fue calibrado mediante el ajuste de los coeficientes de rugosidad y de dispersión hasta obtener una solución estable y velocidades similares a las medidas en campo.

Se estudió la variación espacial y temporal de la contaminación en forma unidimensional y bidimensional analizando diferentes condiciones iniciales de contaminantes y coeficientes de decaimiento según la época del año en consideración.

Se analizaron diversas alternativas de implantación de plantas de tratamiento de efluentes estimando el impacto sobre la calidad de agua de las mismas, tanto en la situación actual

como en una proyección futura a 30 años, de manera de poder plantear las prioridades de implementación de las mismas.

## **2. RECOPIACIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE BASE**

El presente estudio se ha llevado a cabo realizando en primer lugar una investigación de las fuentes de información en las ciudades bajo estudio, gobiernos municipales, provinciales así como los relevamientos realizados por organismos internacionales como la CARU.

La CARU realiza controles periódicos de la calidad de las aguas del río, mediante la Subcomisión de Calidad de Aguas y Prevención de la Contaminación Ambiental, la cual a través de Asesores Técnicos de ambos países desarrollan el "Programa de Calidad de las Aguas y Control de la Contaminación del Río Uruguay (PROCON)". Este programa tiene como algunos de sus objetivos conocer mejor las condiciones actuales del curso de agua e identificar áreas contaminadas (críticas), para ello se realiza la toma regular de muestras de agua y sedimentos en estaciones a lo largo del tramo compartido de ambos países (537 km.).

Se han obtenido datos de las etapas del PROCON que abarcan los períodos 1987 – 2001 enfocados en el monitoreo del cuerpo principal del río y de sectores específicos como costas y puntos críticos, los cuales fueron ingresados en un Sistema de Información Geográfica. [1]

Se realizó una caracterización de base de las ciudades que forman parte del estudio respecto de los sistemas de captación de agua, porcentaje de la población con agua potable, caudales medios de tratamiento en planta, caudales pico, población servida con redes cloacales, sistemas de tratamiento de aguas servidas, etc.

Luego se realizó la estimación de los parámetros de descarga de contaminantes para estudiar la dispersión en el Río Uruguay a partir de las fuentes de contaminación determinadas.

Asimismo, se realizó un estudio demográfico consistente en la estimación de la población estable futura en las ciudades en estudio, mediante la implementación de los siguientes métodos en base a datos de censos locales y nacionales: ajuste lineal de la tendencia histórica; tasa geométrica decreciente; incrementos relativos y relación tendencia.

## **3. MUESTREOS DE CAMPO**

Se realizaron muestreos complementarios de campo en las áreas Concordia – Salto, Liebig – Colón; y Paysandú-Casa Blanca del río Uruguay a los fines de conocer con mayor detalle la distribución transversal de la contaminación. Los resultados en el área Concordia - Salto mostraron que en el tramo superior, aguas arriba del colector de Concordia las condiciones de calidad de agua no presentan una contaminación bacteriológica significativa, razón por la cual se modeló el tramo aguas abajo del arroyo Ayuí Chico. Se obtuvieron valores muy altos de concentración de coliformes fecales (entre 1 y 3 millones de UFC/100 ml) en cercanías tanto de la margen Argentina como de la Uruguaya aguas abajo de las descargas.

Similarmente se realizó un muestreo de la descarga industrial del Frigorífico Las Camelias al Río Uruguay ubicado en la localidad de San José, departamento de Colón, que vuelca sus efluentes tratados al río Uruguay, aguas arriba de los balnearios de la ciudad de San José, Termas de San José y balnearios de la ciudad de Colón. El mismo fue realizado de forma secuencial, relevando las condiciones del cuerpo receptor en sitios ubicados antes y después del vuelco de efluentes cada una hora. En la Figura 2 se presenta un gráfico que muestra la variación temporal de la concentración de coliformes fecales medidos antes y después del vuelco industrial del Frigorífico Las Camelias.

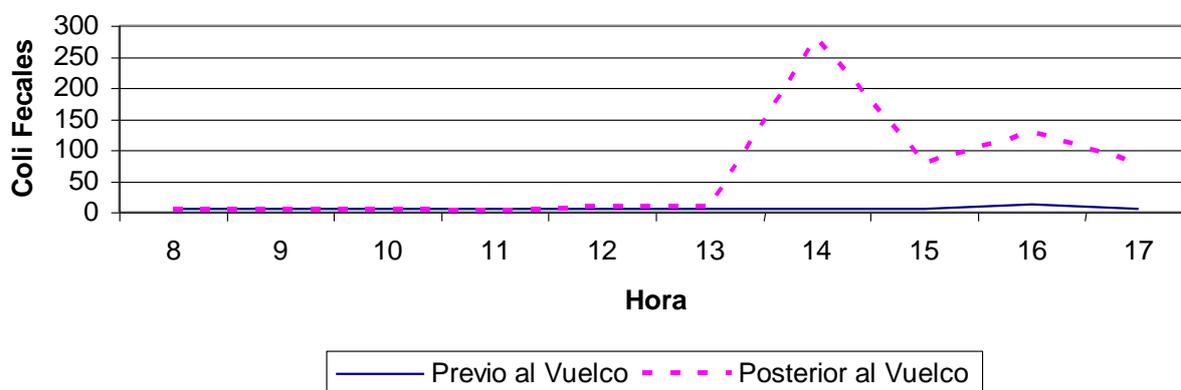


Figura 1 Variación temporal de los Coliformes Fecales antes y después del vuelco industrial del Frigorífico Las Camelias

Del mismo modo, en la zona del Arroyo La Leche se realizó un muestreo a los fines de verificar si las bacterias coliformes fecales presentes, proceden de las descargas de las lagunas de tratamientos de líquidos cloacales de la ciudad de Colón.

Se muestrearon los efluentes cloacales de la ciudad de Paysandú y Arroyo La Curtiembre (marzo de 2008) y de los efluentes industriales del Frigorífico Casa Blanca (junio de 2008). Se relevó el estado de las Piletas de Tratamiento de Efluentes Cloacales de Colón (agosto de 2007), y de las Piletas de Tratamiento de Efluentes Industriales del Frigorífico Las Camelias.

#### 4. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS APORTES DE LOS SISTEMAS CLOCALES Y LAS PRINCIPALES INDUSTRIAS

Se ha realizado una caracterización de los aportes cloacales así como de las principales industrias de las ciudades de Concordia, Colón, Paysandú, San José y Concepción del Uruguay a los fines de realizar una posterior identificación de los sitios específicos de vuelco y la estimación de las cargas contaminantes en cada uno de ellos.

En la ciudad de Concordia, la captación de agua para la red se realiza en forma superficial y subterránea, el promedio diario anual de la extracción total es de 59472 m<sup>3</sup>/día. Respecto de la red cloacal las conexiones existentes son en total 25.000 incluyendo las conexiones para el servicio de población residente y para el servicio de industrias, establecimientos, etc.

En la ciudad de Colón, la captación se realiza del Río Uruguay y el tratamiento de agua en la Planta de Obras Sanitarias de la ciudad, la cual tiene una capacidad de producción de 500 m<sup>3</sup>/h produciendo actualmente en meses pico 11.000 m<sup>3</sup>/día. La población servida es de aproximadamente 15.000 pobladores. Durante los meses de enero y febrero el consumo per cápita se eleva a 650 lts/día. Se sirve aprox. a un 80% de la planta urbana. No hay industrias que produzcan un alto grado de contaminación.

En cuanto a la red cloacal, la población servida es de un 65% de la planta urbana y el estado actual del sistema se considera bueno y en condiciones normales de funcionamiento. El tratamiento cloacal se realiza en lagunas mixtas (dos anaeróbicas y dos facultativas) con descarga al Arroyo La Leche (aguas arriba de la ciudad de Concepción del Uruguay), cuyo caudal de salida del líquido cloacal registrado es de 150 m<sup>3</sup>/h con una DBO que varía entre 35 y 90 mg/lit. No obstante, la capacidad instalada de tratamiento del efluente se encuentra en los parámetros límites de explotación (2003), por lo cuál resulta necesario la ampliación y

traslado de las lagunas a una zona que permita su ampliación.

En la ciudad de Paysandú la captación se realiza del Río Uruguay. La población servida es de aproximadamente el 94% de la población (cerca de 80.370 habitantes). Respecto a la red de saneamiento, la población servida es de 60.180 habitantes lo que representa una cobertura de aprox. 70%. La descarga se efectúa directamente en el Río Uruguay sin ningún tipo de acondicionamiento de los efluentes. El parque industrial de la ciudad está compuesto por varios establecimientos de pequeño, mediano y gran porte, cuyo efluente representa el 85% de la carga orgánica total y un 60% del caudal medio vertido actualmente al Río Uruguay.

La ciudad de San José posee un sistema de recolección de aguas servidas dividido en dos subsistemas que recolectan las aguas servidas las cuales son tratadas en dos piletas de tratamiento independientes. El sistema de lagunas de la ciudad de San José se conforma por una laguna anaeróbica la cual se encuentra en un deteriorado estado de mantenimiento, seguida de una laguna facultativa y luego el vuelco al cuerpo receptor, existen dos piletas privadas que tratan los efluentes de industrias específicas. Las cuatro piletas desaguan en el Arroyo El Doctor de escaso caudal (especialmente en épocas sin lluvia) el cual desemboca en el Arroyo Perucho Verne (de mayor caudal) desembocando este a su vez en el Río Uruguay.

En la ciudad de Concepción del Uruguay la captación se realiza del Río Uruguay así como de pozos de bombeo. La producción máxima de la Planta Potabilizadora es de 22.000 m<sup>3</sup>/día y la producción de los pozos semisurgentes es de 368 m<sup>3</sup>/día siendo el total de la producción de 22.368 m<sup>3</sup>/día. La población servida es de 61.500 hab., lo que representa un 88% de la población con cobertura actual. Presenta un incremento en los consumos en verano.

El sistema de desagüe de la ciudad fue diseñado para 32.000 habitantes con vuelco directo sin tratamiento de los líquidos. Considerando que posee una población del orden de los 74.000 habitantes, se concluye que el sistema se encuentra en un estado crítico de funcionamiento. Si bien en general la descarga se produce por gravedad, ante la necesidad de dar respuesta a la demanda poblacional y a la falta de planificación entre otros factores, se debió recurrir a las estaciones elevadoras de líquidos cloacales para resolver aquellas situaciones en las cuales la topografía no era favorable. Actualmente, la población con servicio de desagües cloacales es de 56.400 habitantes lo que representa un 79,5% del total.

## **5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE DESCARGA DE CONTAMINANTES**

El indicador más usual para caracterizar la contaminación en cursos de agua, es el número de bacterias coliformes, dado que se distingue fácilmente el área contaminada de los valores naturales del medio. El número de coliformes fecales aportado por las descargas cloacales puede oscilar típicamente entre 1 millón y 100 millones de UFC/100 ml. Por lo tanto, la concentración de coliformes es un valor variable en el tiempo a ser ajustado, dentro del rango de valores típicos, a los efectos de obtener órdenes de magnitud representativos de la realidad en los cursos de agua.

La estimación de los parámetros de descarga de contaminantes se realizó con la finalidad de estudiar la dispersión de las mismas en los tramos del Río Uruguay a partir de las distintas fuentes de contaminación determinadas.

Para efectuar una estimación preliminar de las principales descargas cloacales ubicadas aguas arriba de Concepción del Uruguay, se tuvieron en cuenta los parámetros de cantidad de conexiones cloacales y dotaciones medias correspondientes, las condiciones típicas de variabilidad diurna y anual de las dotaciones de agua y de descargas y los cierres aproximados de balances de masa de coliformes fecales para las fechas de medición, teniendo en cuenta los

valores de base que llegan desde aguas arriba, y los valores medidos en las diferentes transectas muestreadas.

Asimismo, se tuvieron en cuenta otras descargas contaminantes de tipo industrial que incluyen el Frigorífico Las Camelias, aguas arriba de los balnearios de la ciudad de San José, Termas de San José y Colón, cuyo caudal de salida es de 2.200.000 lts/día.

## 6. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE INDIVIDUAL DE INCIDENCIA SOBRE EL VUELCO TOTAL DE LAS CIUDADES DE SALTO Y CONCORDIA

Este análisis nos permite predecir y trabajar sobre distintos escenarios futuros para así poder determinar un orden de prioridad y así establecer aquellos vuelcos más significativos desde el punto de vista del impacto que generan aguas abajo. A los fines de proyectar la posible evolución en 30 años de las principales descargas cloacales e industriales con impacto en la calidad bacteriológica del agua del Río Uruguay, se emplearon diferentes métodos para determinar el crecimiento poblacional de las ciudades ribereñas; como tasa geométrica decreciente, ajuste lineal de la tendencia histórica, incrementos relativos y relación tendencia, corroborando las tendencias con los datos del último censo nacional. [2]

Se expresa en la Tabla 1 la variación porcentual de la influencia del vuelco cloacal de las ciudades de Salto y Concordia, y su evolución en el tiempo en función de los crecimientos poblacionales estimados anteriormente. Los resultados fueron calculados sin modificar porcentajes de cobertura cloacal en el tiempo.

Año	2006	2009	2019	2029	2039
QC (m3/s)					
<b>Concordia</b>	0,287	0,318	0,372	0,438	0,516
<b>Salto</b>	0,159	0,167	0,181	0,196	0,213
<b>Total</b>	<b>0,446</b>	<b>0,485</b>	<b>0,553</b>	<b>0,634</b>	<b>0,729</b>
Porcentaje Individual Incidencia (%)					
<b>Concordia</b>	64,3	65,6	67,3	69,1	70,7
<b>Salto</b>	35,7	34,4	32,7	30,9	29,3

Tabla 1 Variación temporal del caudal por ciudad y porcentual de influencia sobre el total del vuelco cloacal en las ciudades de Salto y Concordia.

En forma relativa al vuelco inicial de ambas ciudades se expresa la tendencia futura.

Año	2006	2009	2019	2029	2039
QC (m3/s)					
<b>Concordia</b>	1,00	1,11	1,30	1,53	1,80
<b>Salto</b>	1,00	1,05	1,14	1,23	1,34

Tabla 2 Caudal Medio Diario Anual (QC) en relación al Inicial Simulado en las ciudades de Salto y Concordia.

## 7. MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA CALIDAD DEL AGUA

### 7.1 Modelo Unidimensional

El Estudio de las características hidrodinámicas del Río Uruguay, en el tramo Concordia-Nueva Palmira, se realizó a través de la operación de un modelo matemático hidrodinámico

unidimensional del cauce fluvial. El modelo matemático empleado para calcular los niveles y caudales del río (MIKE 11), funciona actualmente en base a datos de caudal erogado por la represa Salto Grande o datos de nivel aguas abajo de la misma en la escala de Concordia, transformados en caudales por una ley H-Q, niveles del Puerto de Nueva Palmira, caudales del río Gualeguaychú y otros caudales de arroyos menores.

Con toda la información batimétrica, parámetros del modelo, y bases de datos de caudales y niveles, se realizaron corridas que luego son utilizadas para las simulaciones bidimensionales. Se analizó primeramente una corrida para el año 2004, individualizando las fechas en que, en Concepción del Uruguay se dan los niveles bajos, medios y altos de las aguas, a los efectos de estudiar la influencia de las descargas de Concordia sobre la ciudad de Colón, como indicador del efecto sobre la zona de intenso uso balneario/turístico del río, que se desarrolla desde dicha ciudad hasta Concepción del Uruguay. Se estudió la variación espacial y temporal de la contaminación analizando diferentes condiciones iniciales de contaminantes y coeficientes de decaimiento según la época del año en consideración.

Si bien las concentraciones en el río por dilución resultan a la altura de Colón del orden de los miles de UFC/100ml, empleando condiciones realistas de decaimiento bacteriano, las mismas descienden a valores del orden de 300 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución) hasta 35 a 40 UFC/100ml en condiciones de aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución).

Esto implica que gran parte de la contaminación que el río trae a la altura de Colón, según los resultados de los muestreos y análisis efectuados, está causada por las descargas de las ciudades de Concordia y Salto.

## **7.2 Modelo Bidimensional**

Se aplicaron los modelos bidimensionales hidrodinámico RMA2 y de transporte RMA4 (U.S.Army Corps of Engineers). Dado que el valor de los coeficientes de dispersión a aplicar en el modelo de transporte no es conocido a priori, se efectuó un análisis de sensibilidad de los resultados del modelo con diferentes valores y criterios de cálculo en función de las condiciones de turbulencia, apreciándose que la magnitud de dichos coeficientes es determinante para definir como se distribuye la concentración en la sección transversal del río.

La calibración del modelo hidrodinámico consistió en el ajuste de los coeficientes de rugosidad de Manning y de dispersión hidrodinámica, hasta obtener velocidades similares a las medidas mediante corridas de flotadores efectuadas en diversas oportunidades, bajo condiciones de estiaje, aguas medias altas y crecida extraordinaria.

Para efectuar la modelación del tramo Concordia - Salto, se utilizó información sobre las profundidades del lecho fluvial, y datos sobre las concentraciones de contaminantes. Para lograr estabilidad numérica en este tramo se debió utilizar coeficientes de dispersión algo mayores a los que se debería adoptar conforme a las condiciones del medio, por lo que las plumas simuladas resultan transversalmente más anchas y de menor intensidad máxima que las condiciones reales. A modo de ejemplo en la Figura N° 2 se presenta una vista general de la contaminación modelada considerando las descargas de las ciudades de Concordia y Salto. Se observó que los resultados obtenidos cerca de las costas ajustan en forma aceptable a los valores medidos. La contaminación transfronteriza atribuible a la descarga de Salto, según esta modelación cruzaría el centro del río con valores que superan las 1.000 UFC/100ml ya en el Perfil 1, y las 10.000 UFC/100ml en el Perfil 2.

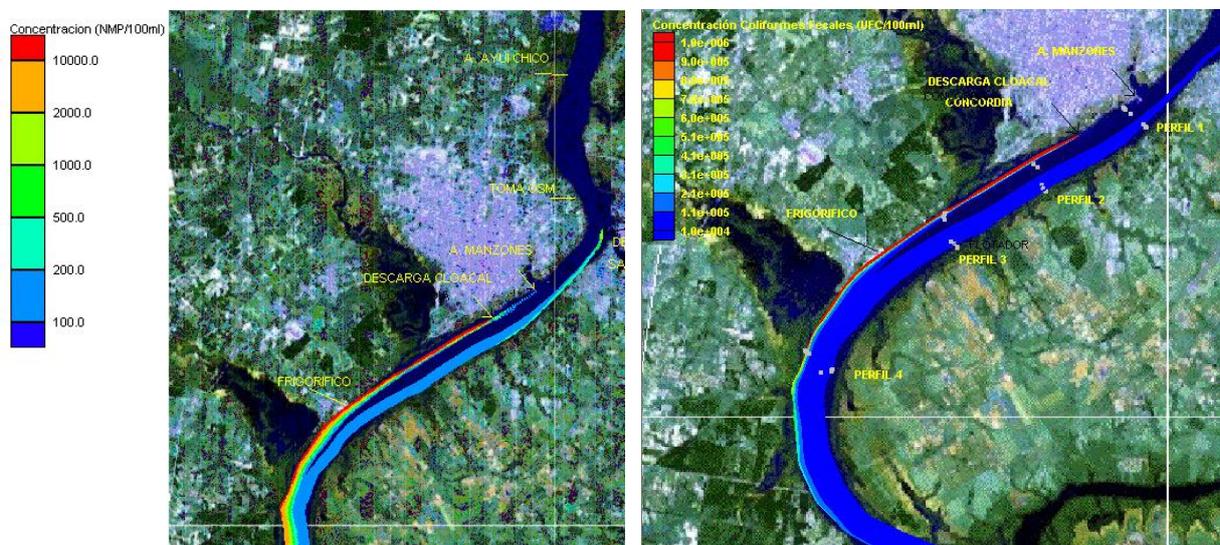


Figura 2 Vista general de la contaminación modelada considerando las descargas de Concordia y Salto (Rangos 100 a 10.000 y 10.000 a 1.000.000 UFC/100ml)

Esto se encuentra en contradicción con los resultados del muestreo, por lo cual se reafirma el hecho que el coeficiente de dispersión transversal que debe ser utilizado, es más bajo que el que debió emplearse para obtener convergencia en la solución, con lo cual se debió aplicar el modelo MIKE 21 del DHI que es más estable que el RMA4 para representar adecuadamente la situación. Si bien estos aportes no alcanzan a mezclarse frente a estas ciudades, afectan en forma conjunta la calidad de agua del río aguas abajo, incluso en sitios tan alejados como la ciudad de Colón, tal como resulta de la modelación unidimensional para simular el transporte de contaminantes en el tramo pueblo Liebig – Colón – Paysandú – Concepción del Uruguay, se utilizaron mediciones de contaminación realizadas durante los años 2002 a 2008, y a partir de ello se realizaron los ajustes de la modelación necesarios para obtener conclusiones firmes en cuanto a las causas y efectos de la contaminación en la zona.

## 8. CONCLUSIONES

Si se realizara el tratamiento de los efluentes cloacales de la ciudad de Concordia, las concentraciones de bacterias coliformes fecales en el río a la altura de la ciudad de Colón sufrirían una disminución alcanzando un rango de 110 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno, lo que representa la mitad del límite de balneabilidad fijado por la CARU. En verano para aguas medias y altas se verifica que si se tratara el efluente de Concordia, los niveles de bacterias coliformes deberían descender por debajo de 20 UFC/100 ml. No obstante, en caso de ocurrir condiciones de estiaje, estos valores se incrementarían sensiblemente, duplicándose al menos por la menor dilución disponible. Proyectando a los próximos 30 años, si no se trataran los desagües cloacales de ambas ciudades, y se mantuviera el porcentaje de cobertura, la carga contaminante se incrementaría en un 80% para Concordia y un 34% para Salto. En consecuencia, por influencia de estas descargas a la altura de la ciudad de Colón, se tendrían concentraciones del orden de 490

UFC/100ml en aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución), hasta 65 UFC/100ml en aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución). El tratamiento de los efluentes de Concordia llevaría estos valores futuros a unas 180 UFC/100 ml en las condiciones de estiaje en invierno, y algo más de 20 UFC/100 ml, en aguas medias y verano. Ello implica que el tratamiento de los vertidos cloacales de la Ciudad de Salto también resulta necesario para asegurar la calidad de agua del río en la margen argentina en la zona de Colón como en la uruguaya a la altura de Paysandú.

Los balnearios de la ciudad de Colón y San José son afectados en primera instancia por lo proveniente de Salto-Concordia, y luego por la descarga del Frigorífico Las Camelias, que si bien es de menor magnitud, por su cercanía a las zonas balnearias y por descargarse cerca de la costa, afecta principalmente a las playas de la margen fluvial, logrando entre estos dos valores superar, para caudales bajos de río, el estándar de CARU para balneabilidad.

A la carga contaminante proveniente por la falta de tratamiento de las ciudades de Salto y Concordia, se le adiciona la relativa a los distintos vuelcos en el tramo Liebig-Concepción del Uruguay, por lo que habría que reducir primero la descarga proveniente de la ciudad de Colón, con lo que se estaría reduciendo en un 90% la concentración de colifecales, en los balnearios aguas abajo de la descarga sobre la margen argentina. Si se mejorara el funcionamiento de la Planta de tratamiento de líquidos cloacales de Colón, y se controlara el vuelco crudo y pérdidas frecuentes del sistema cloacal, reduciendo a un 10 % la carga contaminante bacteriana de vuelco, todos los balnearios de la margen argentina cumplirían los niveles Guía de balneabilidad, inclusive el de la isla Caridad frente a la ciudad de Paysandú.

El estudio evolutivo permitió demostrar que la carga contaminante sobre los balnearios de margen argentina, al final del período de 30 años considerado, produciría un incremento de aproximadamente un 63% en la concentración con respecto a la actual, por lo que resulta imperioso realizar obras de saneamiento que puedan reducir las cargas contaminantes.

En cuanto a la asignación de prioridades, surge claramente la necesidad de controlar en primer lugar las descargas industriales sin tratamiento que se hacen sobre la margen del Río Uruguay aguas arriba de Colón, mejorando las condiciones de calidad de agua en las playas de esta localidad y de San José, las cuales presentan fluctuaciones con niveles de concentración de bacterias coliformes muy superiores al nivel Guía para uso balneario.

En segundo lugar es necesaria la mejora del tratamiento de los efluentes de la Ciudad de Colón para mejorar drásticamente la calidad de agua en la margen argentina aguas abajo, principalmente en el balneario Banco Pelay de Concepción del Uruguay, donde en ocasiones los niveles de contaminación exceden significativamente los niveles Guía.

En tercer lugar, es necesario implementar el tratamiento de los efluentes cloacales de las localidades de Concordia (Argentina) y de Salto (Uruguay), los cuales tenderán a mejorar en forma significativa las condiciones de calidad de agua en las playas de San José y Colón, eliminando un nivel de base que se acerca en ocasiones peligrosamente al Nivel Guía.

## 9. REFERENCIAS

- [1] Publicaciones de la Comisión Administradora del Río Uruguay, *Informes de Avance Programa de Calidad de las Aguas y Control de la Contaminación del Río Uruguay*.
- [2] Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA), *Fundamentación - Cap. II – Estudios preliminares para el diseño de las obras*, p 17.



## INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO URUGUAY DE LAS DESCARGAS CLOACALES DE LAS CIUDADES DE CONCORDIA Y SALTO

Zabalett, Alejandro; Cardini, Julio; Mársico, Daniel y Oliver, Néstor

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)  
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803  
e-mail: {zabaleta,cardinij,marsicod,olivern}@frcu.utn.edu.ar,  
web: <http://www.frcu.utn.edu.ar/investigacion/gecru/web/index.htm>

**Palabras Clave:** Contaminación Cloacal, Río Uruguay, Modelación Matemática Unidimensional, Concordia, Colón.

**Resumen.** *Pretendiendo evaluar la incidencia de las descargas de líquidos cloacales crudos de las ciudades de Concordia y Salto en la zona de Colón, ubicada 80 km aguas abajo en el Río Uruguay, se ha efectuado una modelación unidimensional de calidad de agua, empleando el Modelo MIKE11. Se estimaron las descargas máxicas diarias de Concordia y Salto y se modeló el impacto sobre la concentración de bacterias colifecales bajo diferentes hipótesis de caudal y temperatura. En aguas bajas, las concentraciones que arriban a la zona de Colón pueden llegar a exceder el nivel Guía promedio de balneabilidad establecido por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) que es de 200 UFC/100ml. Si se trataran los líquidos cloacales de la ciudad de Concordia, se reduciría a un 36 % la descarga, con lo que la influencia sobre la ciudad de Colón se verá reducida en la misma magnitud, alcanzando unos 107 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno. Si dentro de 30 años, se produjera únicamente el tratamiento de los líquidos de Concordia, se incrementaría en un 42% la concentración de colifecales en Colón respecto a la condición actual, ascendiendo a unos 180 UFC/100ml, valor cercano al nivel Guía promedio.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del estudio consistió en evaluar la incidencia de los vertidos cloacales de las ciudades de Concordia (República Argentina) y Salto (República Oriental del Uruguay) en la calidad del agua del Río Uruguay, y su efecto sobre la ciudad de Colón (República Argentina) varios kilómetros aguas debajo de las descargas.

### 2. METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada para la investigación parte de la selección de un indicador de calidad de agua representativo del fenómeno que se desea estudiar (habiéndose elegido la

concentración de bacterias coliformes fecales), la realización de muestreos de agua y análisis para determinar la distribución de dicha concentración en el río, la implementación y calibración de un modelo hidrodinámico para obtener el campo de velocidades del flujo en un sector fluvial representativo del área de estudio, y la posterior simulación del transporte de los contaminantes vertidos por las descargas cloacales de las ciudades del sector estudiado. La obtención de un razonable ajuste de las concentraciones medidas en relación con los resultados del modelo, permite confirmar que el fenómeno de dispersión de contaminantes está correctamente analizado, simular otras condiciones hídricas no medidas, y obtener conclusiones válidas.

## 2.1 Modelación unidimensional

A través del modelo Unidimensional Hidrodinámico MIKE 11, previamente calibrado, se realizó una simulación de los niveles y caudales en el Río Uruguay desde Concordia (cercana a la Presa de Salto Grande) hasta Nueva Palmira. Este modelo requiere para su operación de la especificación de los niveles aguas abajo (en Nueva Palmira) y los caudales erogados por la represa Salto Grande aguas arriba, los cuales se determinan en función de los niveles del río en Concordia, aplicando una ley altura/caudal, verificada con datos de caudal de la represa. Con los datos de niveles y caudales registrados durante para distintos puertos del río, se realizaron comparaciones entre los resultados de las corridas de modelo y los datos medidos, a partir de lo cual fue posible la calibración. Para el tramo considerado, se tomaron coeficientes de rugosidad ó Manning, variables longitudinalmente entre 0,021 a 0,040 concordantes con simulaciones realizadas para el período 2002-2003.

## 2.2 Descargas cloacales

Para efectuar la estimación de las descargas cloacales, ante la imposibilidad material de muestrear estadísticamente la calidad de los líquidos descargados, se emplearon los procedimientos que se resumen a continuación:

- Parámetros de cantidad de conexiones cloacales y dotaciones medias correspondientes.
- Condiciones típicas de variabilidad diurna y anual de las dotaciones de agua y de descargas.
- Cierres aproximados de balances de masa de coliformes fecales para las fechas de medición, teniendo en cuenta los valores de base que llegan desde aguas arriba de Colón, y los valores medidos en las diferentes transectas muestreadas.

A los efectos del estudio, los caudales máximos, medios y mínimos diarios representan condiciones extremas y medias de carga contaminante descargada en el río, que combinadas con las condiciones de caudal fluvial que se produzcan, generarán un impacto variable sobre las concentraciones de contaminantes que se registren aguas abajo de las descargas.

En consecuencia, puede estimarse que los máximos impactos en términos de concentraciones de bacterias coliformes en el río se producirán en coincidencia con bajos caudales fluviales (que suelen producirse en verano), junto con máximos consumos de agua y por lo tanto máximas descargas medias diarias (que también ocurren en verano). Por lo tanto, se advierte que este proceso es muy dinámico y variable en el tiempo, siendo imposible caracterizarlo fehacientemente en forma “estática” empleando unas pocas mediciones “representativas”.

De acuerdo a la información recopilada la descarga cloacal de la Ciudad de Concordia se realiza principalmente a través de los colectores de calles San Luis y 25 de Mayo ubicados en la posición que se presenta en la Figura N° 1.

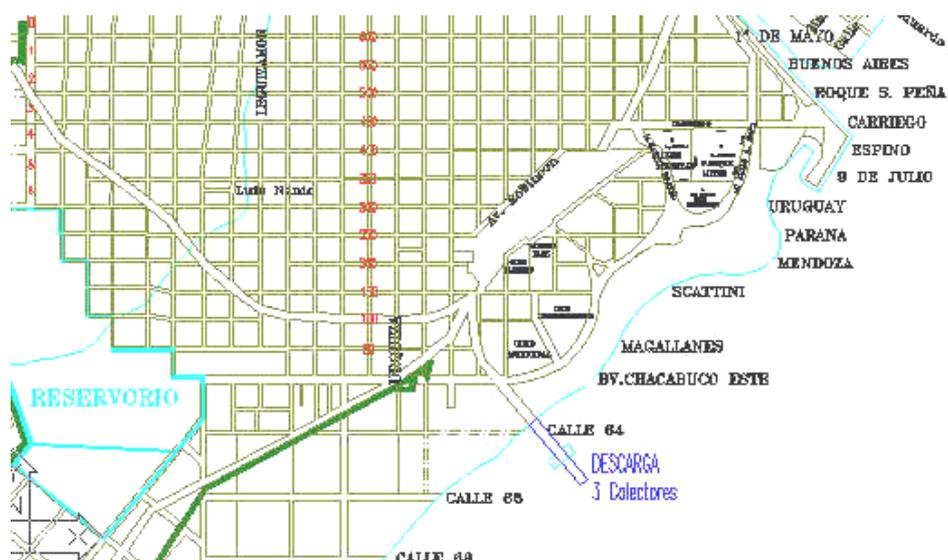


Figura 1. Ubicación de la descarga cloacal de la ciudad de Concordia

La población de la ciudad de Concordia según Censo del año 2001 es de 141.528 hab., asumiendo una población servida de 145.000 hab. (dato proporcionado por los responsables del servicio) cuya descarga sale predominantemente por la Cloaca San Luis/25 de Mayo, se estima el caudal másico de la siguiente manera:

Se asume que un valor de 3,5 habitantes servidos por conexión sobre un total de 25.000 conexiones cloacales informadas, equivaldría a una población servida de 87.500 habitantes.

La suma de todas las parcelas de consumo llevan al valor medio total anual, generalmente designado como “consumo per cápita”, que puede estimarse de la Tabla 1.

Población	Servicio con Medidores	Servicio sin Medidores
Hasta 5.000 habitantes	100-150 litros/cap.	200-300 litros/cap
De 5.000 a 25.000 hab.	150-200 litros/cap.	300-400 litros/cap
De 25.000 a 100.000 hab.	200-250 litros/cap	400-500 litros/cap
Encima de 100.000 hab. <sup>1</sup>	250-300 litros/cap	500-600 litros/cap

Nota: <sup>1</sup> Dentro de este rango se encuentran las ciudades de Concordia y Salto, aunque la ciudad de Salto apenas supera el límite del rango anterior, y la población servida es inferior a 100.000 hab.

Tabla 1. Valores típicos de la Cuota per cápita de poblaciones con y sin servicio de medidores.

Si se adopta una dotación media de 500 l/hab/día (valor mínimo en el intervalo que corresponde a la ciudad de Concordia) para la población de 145.000 hab., resultarían 72.500 m<sup>3</sup>/día, lo que difiere con lo informado por el prestador del servicio (59100 m<sup>3</sup>/día). Esto representa un 82% de la dotación estimada.

Si tomáramos una población servida con red cloacal de 87.500 habitantes, y considerando que el flujo cloacal típicamente es del 70% del uso doméstico, se obtiene un caudal cloacal medio diario  $Q = 87.500 \text{ personas} * 500 \text{ l/hab/día} * 70\% * 82\% = 29.964 \text{ m}^3/\text{día} = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$

La descarga industrial posee una influencia menor en el caudal erogado por el sistema, y no aporta una cantidad significativa de coliformes fecales [1], por lo que no es considerada en el presente cálculo.

En cuanto a la variabilidad diaria del flujo cloacal urbano (no industrial), se puede adoptar un factor del orden de 1,5. Si estos factores se aplican al flujo urbano, implica que en el día pico, el caudal máximo promedio diario podría alcanzar un valor del orden de  $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El valor de caudal mínimo puede obtenerse aproximadamente con el cálculo del producto del caudal cloacal medio diario ( $0,29 \text{ m}^3/\text{s}$ ) por la variabilidad diaria mínima (0,7) lo que da un valor de  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ . A su vez, el caudal máximo horario puede calcularse con un factor adicional del orden de 1,5, a través del producto del caudal total medio diario ( $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ ) por dicho factor (1,5) lo que da un valor de  $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Según Kiely [2], la calidad bacteriológica de un líquido cloacal crudo, puede estimarse en el siguiente rango:

- Para coliformes totales: entre  $100$  y  $1000 \times 10^6 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ ,
- Para coliformes fecales: entre  $10$  y  $100 \times 10^6 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$  (un orden de magnitud menor).

La carga másica máxima considerada en Concordia, en condiciones de caudal, es:  $0,6 \text{ m}^3/\text{s} \times 10^8 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 6 \times 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$  (coliformes fecales)

Para la ciudad de Salto, la descarga cloacal se ubica aproximadamente en las coordenadas E 6407200, N 6528000 (Figura 2).

Los datos censales disponibles en la Tabla 2 muestran el crecimiento del Departamento y ciudad de Salto [3].



Figura N° 2. Descarga cloacal de la ciudad de Salto

Departamento Salto (Superficie: $14.163 \text{ Km}^2$ )	Ciudad Salto
(1963) 92.216 habitantes	(1963) 57.714 habitantes
(1985) 108.487 habitantes	(1985) 80.823 habitantes
(1996) 118.013 habitantes	(1996) 93.417 habitantes

Tabla 2. Datos demográficos de los últimos censos del departamento y ciudad de Salto

La tasa de crecimiento intercensal de la década precedente es del 15,6%, similar a la de Concordia, por lo que se estima para la actualidad una población de 108.000 habitantes, con una cobertura cloacal inferior a los 100.000 habitantes. Considerando una media de 3,5 personas por vivienda ( $104.031 \text{ habitantes}/ 29.235 \text{ viviendas}$ ) (INE-ROU, 1996), las

viviendas conectadas corresponden a  $16.000 * 3,5 = 56.000$  personas, y teniendo en cuenta una dotación de 400 lt/hab/día, resulta un caudal medio de  $Q = 56.000 \text{ personas} * 400 \text{ l/hab/día} * 70\% = 15.680 \text{ m}^3/\text{día} = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para Salto se informa al 2003 la existencia de 11.746 conexiones, correspondientes a una cobertura del 51% de una población de 82.779 habitantes (coincidentemente, 3,5 habitantes/conexión). Considerando vertido directo, la concentración de bacterias coliformes en la descarga cruda debería ser similar a la adoptada para Concordia. Sin embargo, como se verá en lo sucesivo, esa hipótesis contradice los resultados de las mediciones de concentración de coliformes fecales en el río efectuadas en el año 2005, para las cuales se encontraron órdenes de magnitud muy superiores en la costa argentina que en la uruguaya.

Se debió suponer entonces, que al menos durante el período de tiempo en el que se realizaron las mediciones en el río, la concentración de coliformes en la descarga se encontraba reducida (hipótesis que se consideró que debía ser confirmada o refutada en estudios posteriores con mayor cantidad de información de campo).

El muestreo realizado en el año 2005, arrojó la existencia de niveles altos de contaminación también en cercanías de la costa uruguaya, con lo cual no fue necesario adoptar una hipótesis de reducción de la carga contaminante en este caso. Considerando entonces un caudal del orden de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  y una descarga cloacal con una concentración igual a la asumida para Concordia ( $100.000.000 \text{ UFC}/100\text{ml}$ ), la carga másica máxima adoptada es de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s} * 10^8 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 2 * 10^7 \text{ UFC} /100 \text{ ml}$ . (coliformes fecales).

### 3. EVOLUCION ESPACIAL DE COLIFORMES ENTRE CONCORDIA Y COLON

#### 3.1 Cargas másicas consideradas

##### Ciudad de Concordia

La carga másica considerada, en condiciones medias, para el Escenario Actual, es:

$$0,287 \text{ m}^3/\text{s} * 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 2,87 * 10^6 \text{ m}^3/\text{s} * \text{UFC}/100 \text{ ml}$$

Para el Escenario a 30 años, si no se efectuara una planta de tratamiento, considerando una proyección demográfica con una tasa de crecimiento del 14.5 %, resultaría una descarga másica de  $4,87 * 10^6 \text{ m}^3/\text{s} * \text{UFC}/100 \text{ ml}$

##### Ciudad de Salto

La carga másica considerada, en condiciones medias, para el Escenario Actual, es:

$$0,159 \text{ m}^3/\text{s} * 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 1,59 * 10^6 \text{ m}^3/\text{s} * \text{UFC}/100 \text{ ml}$$

De igual manera a lo realizado para la ciudad de Concordia, para Salto un escenario a 30 años, de no efectuarse una planta de tratamiento, una tasa de crecimiento del 8 %, resultaría una descarga másica de  $2 * 10^6 \text{ m}^3/\text{s} * \text{UFC}/100 \text{ ml}$ .

#### 3.2 Condiciones hidráulicas fluviales

Se analizó primeramente una corrida para el año 2004, individualizando las fechas en que, en Concepción del Uruguay se dan los niveles bajos, medios y altos de las aguas, a los efectos de estudiar la influencia de las descargas de Concordia y Salto sobre la ciudad de Colón, como indicador del efecto sobre la zona de intenso uso balneario/turístico del río, que se desarrolla desde dicha ciudad hasta Concepción del Uruguay. Se estudió la variación espacial y temporal de la contaminación analizando diferentes condiciones iniciales de contaminantes y coeficientes de decaimiento según la época del año en consideración. A continuación se desarrolla parte del estudio de la evolución de contaminantes realizado para Aguas Bajas.

### 3.3 Análisis para niveles de Aguas Bajas (1 metro en Concepción del Uruguay)

Sobre todo el período simulado de la corrida hidrodinámica, se eligió el período de invierno que va desde 26/05/04 al 2/06/04. Las descargas consideradas en Concordia y Salto, si bien son estimativas, permiten representar adecuadamente el orden de magnitud del fenómeno.

**Primera Estimación:** sin concentración de base inicial y sin decaimiento

La concentración para esta primera estimación, oscila entre 1.500 y 3.500 UFC/100ml.

**Segunda Estimación:** con concentración de base inicial y con decaimiento invernal (Colis 0.000050 millones UFC/100 ml iniciales, Decaimiento 0.03 1/hora)

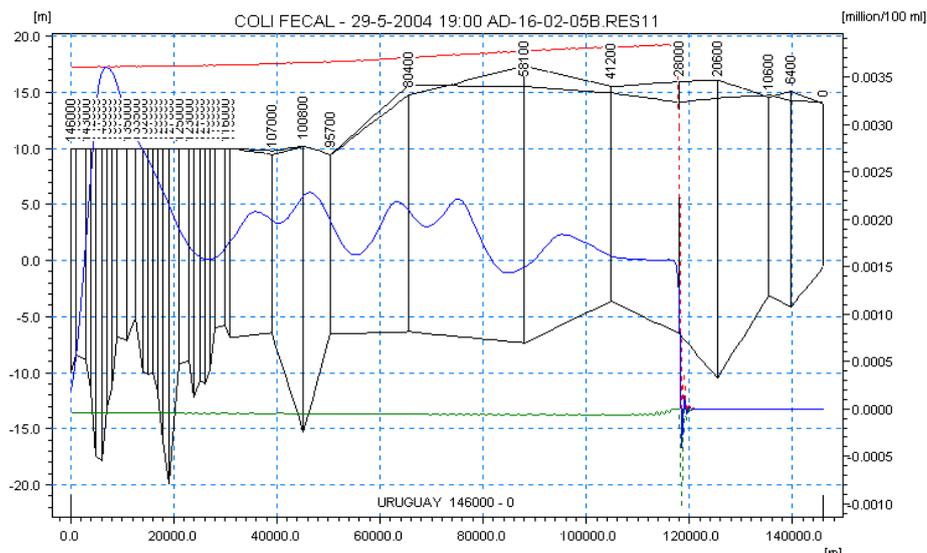


Figura 3. Simulación longitudinal de la concentración de Coliformes Fecales sin concentración de base inicial y sin decaimiento (Aguas Bajas-2004)

Nota: la línea azul muestra la concentración instantánea, mientras que las líneas roja y verde muestran los valores máximo y mínimo, respectivamente. La progresiva del tramo aguas abajo de Colón comienza en la escala del gráfico en 30.000 m, equivaliendo a la progresiva 115.000 m medida en el modelo desde Salto Grande.

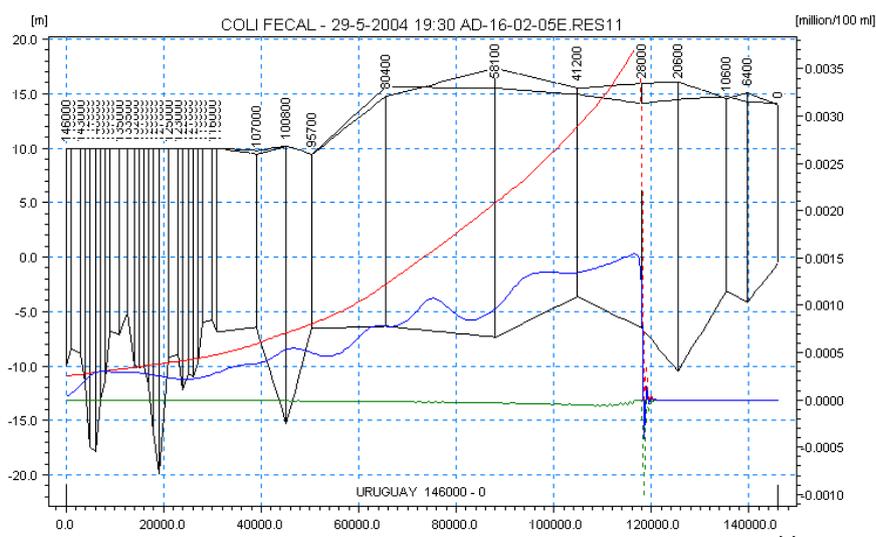


Figura 4. Simulación longitudinal de la concentración de Coliformes Fecales con concentración de base inicial y con decaimiento invernal (Aguas Bajas-2004)

La concentración con decaimiento oscila en la ciudad de Colón entre 300 y 500 UFC/100ml. Similares estudios se realizaron para condiciones de aguas medias y altas, con variación de la concentración de base inicial y decaimiento, a los efectos de evaluar la sensibilidad del modelo a las mismas.

#### 4. DISCUSION DE RESULTADOS

Se puede apreciar que si bien las concentraciones en el río por dilución son del orden de los miles de UFC/100ml, empleando condiciones realistas de decaimiento bacteriano, las mismas descienden a valores del orden de 300 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución) hasta 35 a 40 UFC/100ml en condiciones de aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución).

Esto implica que gran parte de la contaminación que el río trae a la altura de Colón, según los resultados de los muestreos y análisis efectuados, está causada por las descargas de las ciudades de Concordia y Salto que se vuelcan aguas arriba a más de 80 km. de distancia, las cuales en condiciones de aguas medias y altas aportan unos 40 UFC/100ml acercando los valores de base del río al límite de balneabilidad (200 UFC/100ml).

Aguas	Nivel (metros)	Concentración Colifecales UFC/100ml		
		Sin Decaimiento	Con Decaimiento	
			Estival (0.076)	Invernal (0.03)
Bajas	1	1500-3500		300-500
Medias	3	700	40	
Altas	5-6	350	35-40	

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos empleando distintos niveles de agua con diferentes coeficientes de decaimiento bacteriano.

En condiciones de aguas bajas, debido a la menor dilución, las concentraciones que arriban a

la zona de Colón pueden llegar a exceder el límite de balneabilidad fijado por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU). En la Tabla 3 se resume el análisis realizado.

## 5. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE INDIVIDUAL DE INCIDENCIA SOBRE EL VUELCO TOTAL DE LAS CIUDADES DE SALTO Y CONCORDIA

Este análisis nos permite predecir y trabajar sobre distintos escenarios futuros para así poder determinar un orden de prioridad y así establecer aquellos vuelcos más significativos desde el punto de vista del impacto que generan aguas abajo.

Se expresa en la Tabla 4 la variación porcentual de la influencia del vuelco cloacal de las ciudades de Salto y Concordia, y su evolución en el tiempo en función de los crecimientos poblacionales estimados. Los resultados fueron calculados sin modificar porcentajes de cobertura cloacal en el tiempo.

De las anteriores tablas surge que si se trataran los líquidos cloacales de la ciudad de Concordia en la actualidad, reduciríamos un 64 % la descarga en la condición actual, con lo que la incidencia sobre la ciudad de Colón se verá reducida en la misma magnitud. Los valores así descenderían al orden de 110 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno, lo que representa la mitad del límite de balneabilidad fijado por la CARU.

Año	2006	2009	2019	2029	2039
QC (m3/s)					
<b>Concordia</b>	0,287	0,318	0,372	0,438	0,516
<b>Salto</b>	0,159	0,167	0,181	0,196	0,213
<b>Total</b>	<b>0,446</b>	<b>0,485</b>	<b>0,553</b>	<b>0,634</b>	<b>0,729</b>
Porcentaje Individual Incidencia (%)					
<b>Concordia</b>	64,3	65,6	67,3	69,1	70,7
<b>Salto</b>	35,7	34,4	32,7	30,9	29,3

Tabla 4. Variación temporal del caudal por ciudad y porcentual de influencia sobre el total del vuelco cloacal en las ciudades de Salto y Concordia.

En forma relativa al vuelco inicial de ambas ciudades se expresa la tendencia futura.

Año	2006	2009	2019	2029	2039
QC (m3/s)					
<b>Concordia</b>	1,00	1,11	1,30	1,53	1,80
<b>Salto</b>	1,00	1,05	1,14	1,23	1,34

Tabla 5. Caudal Medio Diario Anual (QC) en relación al Inicial Simulado en Salto y Concordia.

Por otro lado, si al cabo del tiempo proyectado de 30 años, se produjera el tratamiento de los líquidos de Concordia, no así los de la ciudad de Salto, se incrementaría en un 34% solamente la concentración de colifecales en la ciudad de Colón. Los niveles ascenderían al orden de 150 UFC/100ml, nivel establecido aún por debajo del límite.

Debemos aclarar que estas estimaciones fueron realizadas en base a las descargas cloacales de las ciudades con valores de Caudal Medio Diario Anual (QC), y que existen momentos diarios y mensuales en que estos valores son superados.

Otra aclaración, es que se utilizaron los porcentajes de cobertura de agua y del sistema cloacal

de las distintas ciudades determinados a través del relevamiento de datos, la dotación media de agua por habitante, los habitantes por conexión, y los coeficientes de variación estacional y de pico horario. Estos coeficientes, con sus variaciones anuales, sirvieron para estimar los caudales de diseño pasados, y futuros.

## 6. CONCLUSIONES

El total de la carga másica considerada para las ciudades de Salto y Concordia es de  $4,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/s x UFC/100 ml, siendo actualmente la influencia de Concordia sobre el total vertido al río Uruguay inmediatamente aguas abajo de la represa de Salto Grande, del 64%.

La concentración total de contaminantes resultante por la influencia directa de estas descargas sobre la ciudad de Colón es del orden de 300 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución), hasta 35 a 40 UFC/100ml en condiciones de aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución).

Si se realizara el tratamiento de los efluentes cloacales de la ciudad de Concordia, las concentraciones de bacterias coliformes fecales en el río a la altura de la ciudad de Colón sufrirían una disminución alcanzando un rango de 110 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno, lo que representa la mitad del límite de balneabilidad fijado por la CARU.

Si bien el análisis de prioridades para la construcción de plantas de tratamiento se desarrolla en otra publicación, se analiza a continuación el efecto de construir plantas que a través de la fase de pasaje del líquido cloacal por una laguna facultativa, puedan reducir no sólo la DBO emitida, sino también las concentraciones de bacterias, al menos a un 10% de la correspondiente a un líquido cloacal crudo, lo cual sería factible de lograr según lo registrado en las plantas existentes, aunque sería también útil contar con una laguna de maduración.

En verano, y descartando condiciones de aguas bajas (aunque éstas se presentan en ocasiones), se verifica para aguas medias y altas que si se tratara el efluente de Concordia con la hipótesis precedente, los niveles de bacterias coliformes deberían descender por debajo de 20 UFC/100 ml. No obstante, en caso de ocurrir condiciones de estiaje, estos valores se incrementarían sensiblemente duplicándose al menos por la menor dilución disponible.

En una proyección para los próximos 30 años, si no se trataran los desagües cloacales de ambas ciudades, y se mantuviera el porcentaje de cobertura, la carga contaminante se incrementaría en un 80% para Concordia y un 34% para Salto. En consecuencia, a la altura de la ciudad de Colón, se tendrían concentraciones del orden de 490 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución), hasta 65 UFC/100ml en condiciones de aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución).

El tratamiento de los efluentes de Concordia llevaría estos valores futuros a unas 180 UFC/100 ml en las condiciones de estiaje en invierno, y algo más de 20 UFC/100 ml, en aguas medias y verano, valor que se podría duplicar si acaeciera un estiaje en la época estival.

Los balnearios de la ciudad de Colón y San José son afectados en primera instancia por lo proveniente de Salto-Concordia, y luego por la descarga de un Frigorífico avícola que descarga sus efluentes tratados aguas arriba, que si bien es de menor magnitud, por su cercanía a las zonas balnearias y por descargarse cerca de la costa, afecta principalmente a las playas de la margen fluvial, logrando entre estos dos valores, superar para caudales bajos de río, el estándar establecido por CARU para balneabilidad. A través de los muestreos se verificó que el impacto contaminante de ambas ciudades sobre el río es muy significativo. Mediante modelación se concluyó que afecta la ciudad de Colón incrementando los niveles de base en el curso fluvial, alcanzando valores del orden de 100 UFC/100ml, próximos al 50%

del nivel Guía para uso recreativo con contacto directo. Este aporte, sumado al propio de Colón e inmediaciones, también impacta en la zona de Balnearios de la ciudad de Concepción del Uruguay, provocando la frecuente superación del nivel Guía.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Henry, Glynn, y Heinke, Gary, *Ingeniería Ambiental*, Prentice Hall, pp 231, 430, (1999).
- [2] Kiely, Gerard, *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*, Interamericana de España, pp. 678, (1999).
- [3] VII Censo General de Población, III de Hogares y V de Viviendas. Instituto Nacional de Estadística de la República Oriental del Uruguay, Zona Urbana Depto. de Salto (1996).

# **AFECTACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LAS COSTAS DE COLÓN Y CONCEPCIÓN DEL URUGUAY DEBIDO A LOS IMPACTOS BACTERIOLÓGICOS CAUSADOS POR DESCARGAS CLOACALES E INDUSTRIALES**

**Zabalett, Alejandro; Cardini, Julio; Oliver, Néstor y Cardini, Cecilia**

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)  
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803  
e-mail: {zabaleta,cardinij,olivern,-}@frcu.utn.edu.ar,  
web: <http://www.frcu.utn.edu.ar/investigacion/gecru/web/index.htm>

**Palabras Clave:** Impacto Bacteriológico, Río Uruguay, Modelación Matemática Bidimensional, Concepción del Uruguay.

**Resumen.** *La presencia de indicadores de contaminación bacteriológica detectados a través de mediciones realizadas por el GECRU en los balnearios de la costa del Río Uruguay, motivó la realización de un estudio que permitiera identificar las causas del problema, a los efectos de evaluar y recomendar acciones de saneamiento. Para ello se realizó una identificación y cuantificación estimativa de las principales descargas cloacales e industriales en el tramo entre Pueblo Liebig y Concepción del Uruguay, y se modeló bidimensionalmente la calidad de agua resultante en el curso fluvial, utilizando los modelos hidrodinámico RMA2 y de transporte de contaminantes RMA4 en el entorno Surface Modelling System, determinando el impacto de cada descarga en la calidad de agua de las áreas balnearias de Colón y Concepción del Uruguay (Banco Pelay). Se evaluó el grado de contaminación, medido a través de la concentración de bacterias coliformes fecales, en diferentes puntos de la costa, considerando la situación actual y escenarios en un horizonte de 30 años. El modelo RMA4, permitió identificar los principales procesos de dilución-dispersión, siendo sus resultados muy dependientes de los coeficientes de dispersión, los cuales se ajustaron en base a mediciones efectuadas por el GECRU. La calidad de agua en la zona balnearia de Banco Pelay es afectada por la descarga cloacal de Colón cuyo efluente no se corresponde con el hecho de que dispone de lagunas de tratamiento. El estudio evolutivo, al final del período, prevé un incremento de la concentración bacteriológica sobre los balnearios de aproximadamente un 63% respecto a la actual. Se concluyó que resulta imperioso realizar obras de saneamiento que puedan reducir estas importantes cargas contaminantes.*

## **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

El área de estudio comprende el tramo que se extiende desde Pueblo Liebig hasta Concepción del Uruguay, a lo largo del río Uruguay. El objetivo del estudio es el de analizar las principales descargas cloacales e industriales al Río Uruguay en dicho tramo, debido a presencia de indicadores de contaminación detectados en balnearios de la ciudad de Colón.

Para ello se realizó un relevamiento puntual en la zona del Frigorífico Las Camelias SA, otro general en el área de Estudio y se finalizó con una determinación del estado de las piletas de Tratamiento de Efluentes Cloacales de la ciudad de Colón.

A través del muestreo se pretendió evaluar en forma puntual la evolución en el recorrido de la pluma contaminante proveniente de vuelco de efluentes de industrias y arroyos de la zona. Para ello se ejecutaron mediciones de contaminación, durante los años 2002 a 2008, se realizó un trabajo integrador de todos los muestreos realizados hasta la fecha, y a partir de ello se realizaron los ajustes de la modelación necesarios para obtener conclusiones firmes en cuanto a las causas y efectos de la contaminación en la zona.

## **2. IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE VUELCO**

Se identificaron las principales descargas cloacales y de industrias frigoríficas al río Uruguay provenientes de las ciudades que se encuentran en el tramo de estudio, y que puedan tener influencia en la calidad del agua en los balnearios de la ciudad de Colón.

Se realizó un análisis visual previo sobre el Sistema Hídrico Pueblo Liebig, Villa San José, y Colón a los efectos de detectar posibles fuentes puntuales de contaminación. El estudio se realizó analizando los tributarios desde sus nacientes a los fines de detectar posibles focos de contaminación.

Para ello se identificaron sobre imágenes satelitales, los tributarios en el área de Liebig-Colón, las vías de acceso, un basural en la Ciudad de Colón, descargas industriales (como la del frigorífico Las Camelias), el Balneario y Termas de San José, la planta Fana Química, la desembocadura en el río Uruguay del arroyo Artalaz, así como las principales plantas de producción, balnearios turísticos y desembocadura de Arroyos. Luego se estableció un plan de muestreo a los fines de caracterizar la influencia directa de estos vuelcos en la calidad del agua del río Uruguay.

## **3. PROGRAMA DE MONITOREO**

Durante el período 2004 – 2008 se llevaron a cabo monitoreos de calidad de agua en las áreas prioritarias del curso de agua. Durante el año 2006 se realizaron muestreos sobre el tramo en estudio, así como la detección de características de las aguas en la desembocadura de tributarios al río Uruguay. El objetivo del muestreo fue la determinación de indicadores de contaminación bacteriológica, realizando la determinación de coliformes fecales mediante el método de la membrana filtrante. Los coliformes fecales, son aquellas bacterias coliformes provenientes específicamente del tracto intestinal de individuos de sangre caliente.

Durante el muestreo realizado el 21 de agosto de 2008 las condiciones de muestreo fueron óptimas desde el punto de vista climático y estacional del Río Uruguay.

La Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) establece que para el uso 1 (aguas crudas o brutas destinadas al abastecimiento público con tratamiento convencional) los coliformes fecales (técnica de la membrana filtrante) no deberán exceder una media logarítmica de 2000/100 ml en al menos 5 muestras consecutivas y no podrán superar las 5000/100 ml en más del 20% de las muestras.

Para el uso 2 (aguas destinadas a actividades de recreación con contacto directo): los coliformes fecales, determinados mediante la técnica de la membrana filtrante y basada en un mínimo de 5 muestras en cualquier período de 30 días, no deberán exceder una media logarítmica de 200/100 ml ni superar los 500/100 ml en más del 20% de las muestras.

La realización de un muestreo aislado permite detectar la situación puntual en una zona

determinada y poder detectar puntos “críticos” de vertidos, y permite realizar una proyección de las condiciones en los puntos de muestreos y emplearlos para la modelación. Los valores de coliformes fecales detectados en este muestreo varían de 50 U.F.C/100ml a 2.100.

El 30 de agosto de 2007, entre las 10:00 hs y 12:30 hs se realizó un muestreo para establecer el comportamiento de la zona en estudio, poder detectar nuevos vuelcos o confirmar los ya existentes. En la Figura 1 se presentan las 9 muestras, distribuidas espacialmente.

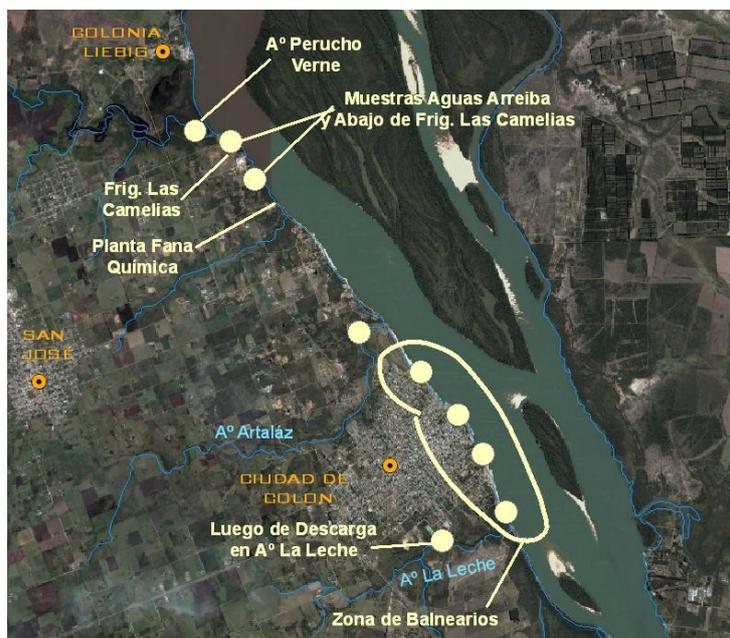


Figura 1: Zona general de estudio y sitios de muestreo.

Los resultados obtenidos del análisis de contaminación bacteriológica no mostraron la presencia de indicadores de contaminación en el curso de agua, a pesar de que la muestra de líquido crudo que vuelca al río presenta un alto grado de contaminación bacteriana.

Es coincidente con la presencia de contaminación la muestra extraída del Arroyo La Leche, lo que corrobora la falta de eficiencia en el tratamiento de líquidos cloacales proveniente de las piletas de tratamiento.

En fecha 27 de junio de 2007 se practicó el muestreo de control del funcionamiento del Frigorífico La Camelias ubicado en la localidad de San José, departamento de Colón, que vuelca sus efluentes tratados al río Uruguay, aguas arriba de los balnearios de la ciudad de San José, Termas de San José y balnearios de la ciudad de Colón. El muestreo fue realizado en forma secuencial, relevando las condiciones del cuerpo receptor en sitios ubicados antes y después del vuelco de efluentes cada una hora.

En base a las mediciones realizadas se pudo apreciar que en el curso de agua existen valores menores a 5 UFC/ 100 ml en el 90% de las muestras obtenidas, en el punto de muestreo antes de la descarga, con una sola muestra de 13 UFC/100 ml que representa un valor puntual luego de 9 horas de muestreo en el mismo punto.

Se determinaron concentraciones de coliformes fecales que oscilan entre 80 y 230 UFC/100ml, a la hora 7, 8, 9 y 10 en el punto de muestreo aguas abajo de la descarga de Las Camelias, valores que son altos en relación a los obtenidos para el punto aguas arriba, lo cual claramente indica la incidencia de la descarga del efluente.

Se realizó además el análisis de una muestra de efluente crudo proveniente de las piletas de tratamiento, previo a su ingreso al cuerpo receptor, resultando una concentración de coliformes fecales igual a 2.300.000 UFC/100ml. Es de destacar que el valor encontrado en la descarga en relación con los determinados en el curso de agua receptor, muestra que existe una importante dilución, lo cual deberá corroborarse con muestreos a través de distintas transectas, para observar la incidencia de la pluma de descarga en el cuerpo receptor.

Si bien es prematuro concluir con una sola campaña de muestreo, es un avance importante para proseguir con este tipo de parámetro complementado a través de distintas transectas aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga del efluente de este establecimiento.

Luego del estudio de descargas y vuelcos puntuales realizado, tanto industriales como cloacales de las ciudades, se pueden considerar para una primera aproximación a la condición actual del río, las concentraciones que se presentan en la Tabla 1, caudales y carga másica de contaminantes.

<b>Simulación SMS Descarga</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Concentracion mu-g/m<sup>3</sup></b>	<b>Colis millon/100ml</b>	<b>Carga másica</b>
Arroyo Juan Santos	0.01	3000	100	1000000
Arroyo Sacra	0.29		4	1160000
Arroyo La Leche	0.035		5	175000
Arroyo La Curtiembre	2	2000	0.03	60000
Frigorífico Las Camelias SA	0.06	200	0.3	18000

Tabla 1. Condiciones de descarga de los vuelcos puntuales al río. Tramo Pueblo Liebig - Concepción del Uruguay.

#### 4. APLICACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO

Sobre finales del año 1999 quedó implementado un sistema de predicción de niveles mediante la implementación y calibración del modelo MIKE 11, desarrollado por el Danish Hydraulic Institute (DHI), entre las ciudades de Concordia y Nueva Palmira. Mediante este modelo implementado, se generaron las condiciones de borde de nivel aguas abajo de Concepción del Uruguay y de caudal aguas arriba de Pueblo Liebig, a ser utilizadas por el modelo bidimensional hidrodinámico RMA2.

La calibración del modelo consistió en el ajuste de los coeficientes de rugosidad de Manning y de dispersión hidrodinámica, hasta obtener una solución estable y con velocidades similares a las medidas mediante corridas de flotadores efectuadas en diversas oportunidades, bajo condiciones de estiaje, aguas medias altas y crecida extraordinaria.

El tramo de interés del presente estudio fue simulado empleando los programas RMA2 y RMA4 del modelo bidimensional SMS (U.S.Army Corps of Engineers) durante los años 2007 y 2008.

El modelo RMA2 permite simular flujos naturales a superficie libre, donde el movimiento es esencialmente horizontal, utilizando el método de elementos finitos para calcular las velocidades medias del flujo y los niveles de agua. La calibración del modelo consistió en el ajuste de los coeficientes de rugosidad de Manning y de dispersión hidrodinámica, hasta obtener una solución estable y con velocidades similares a las medidas.

Para simular el problema del transporte de contaminantes en el río debe resolverse la Ecuación de Advección - Dispersión Bidimensional, cuya solución depende fundamentalmente de las condiciones de borde impuestas y de los siguientes parámetros:  $D_{lon}$  y  $D_{tran}$  (Coeficientes de dispersión longitudinal y transversal),  $K$  (coeficiente de

decaimiento para una reacción de primer orden). Se aplica para ello el modelo RMA4 del USACE, el cual permite especificar descargas de contaminantes y calcular su transporte en el campo de velocidades y niveles calculado por el RMA2.

A medida que se fueron realizando las campañas de mediciones se fueron ejecutando modelaciones de la calidad de agua para las fechas de muestreo, a los efectos de ir evaluando el grado de acuerdo entre los resultados del modelo y la realidad. Dado que el valor de los coeficientes de dispersión a aplicar no es conocido a priori, se efectuó un análisis de sensibilidad de los resultados del modelo con diferentes valores y criterios de cálculo en función de las condiciones de turbulencia, apreciándose que la magnitud de dichos coeficientes es determinante para definir como se distribuye la concentración en la sección transversal del río. Se verificó que dependiendo del valor asignado a los coeficientes de dispersión se produce o no un impacto de los vertidos cloacales de Paysandú (República Oriental del Uruguay) sobre las playas de Concepción del Uruguay (República Argentina).

Por otro lado, se requiere de la especificación de coeficientes que rigen el comportamiento de los fenómenos que inciden sobre el crecimiento, muerte y otras pérdidas de organismos bacterianos; entre ellos se encuentra la velocidad de mortalidad de bacterias o decaimiento.

Para definir los mismos se realizaron análisis de sensibilidad a partir de los cuales se determinó que la influencia del coeficiente de decaimiento en el área de estudio es muy baja. Se adoptaron valores diferentes para las correspondientes a los muestreos para condiciones de invierno y para las condiciones de verano.

Las corridas se han realizado en primer término considerando un coeficiente de decaimiento bacteriano igual a cero (nulo), y en segundo término distinto de cero, a los efectos de poder discriminar los efectos de dilución y de decaimiento en forma.

El modelo verifica la teoría de que a medida que aumenta el nivel de las aguas, manteniendo el caudal másico de vuelco, aumenta la dilución, y disminuye la concentración de contaminantes en los balnearios en estudio.

La estimación de las descargas cloacales es difícil puesto que las mismas son fluctuantes en caudal y concentración, por lo que al solo efecto de la determinación de los coeficientes de dispersión, se adoptaron valores típicos en función de la información disponible, pasibles de ser ajustados en el proceso de calibración y simulación.

En la Figura 2 se observa la Sensibilidad al Coeficiente de Dispersión sobre la evolución temporal de la concentración de colifecales (UFC/100ml) en la playa de Banco Pelay para una condición de aguas altas, considerando un pulso de descarga contaminante en Colón en todos los casos salvo en el indicado más abajo, para el cual el caudal másico descargado se consideró constante.

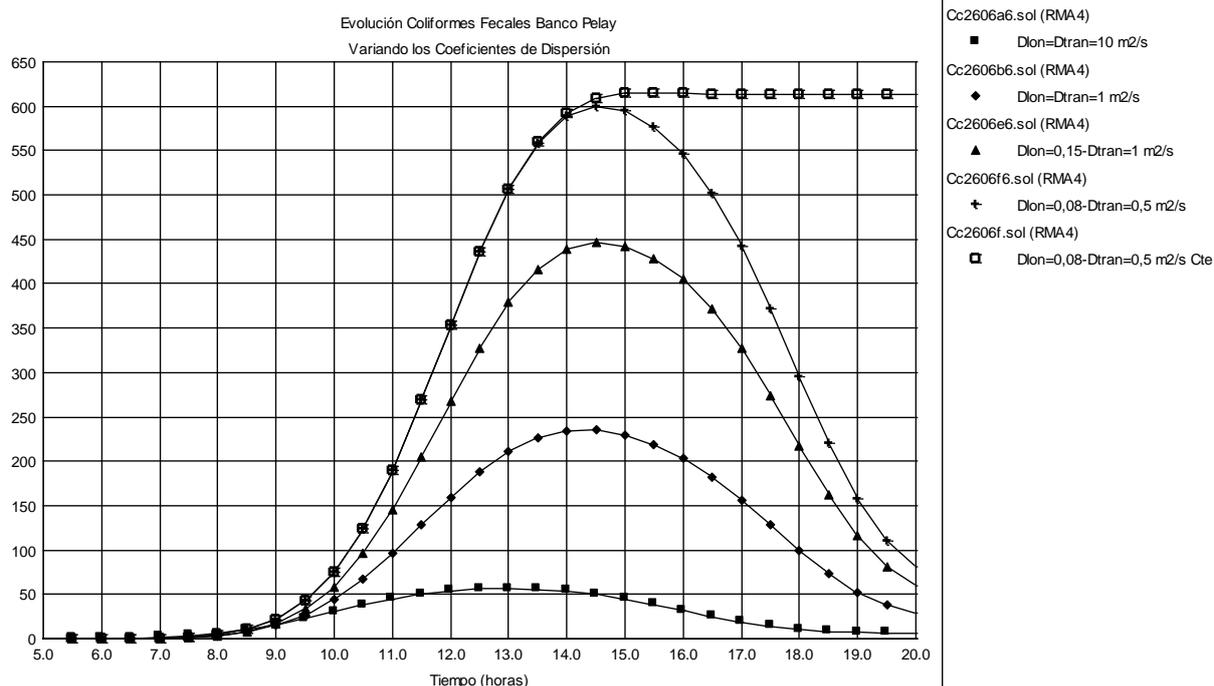


Figura 2. Sensibilidad al Coeficiente de Dispersión sobre la evolución temporal de la concentración de colifecales (UFC/100ml) en la playa de Banco Pelay para una condición de aguas altas (26/06/02)

La primera condición analizada corresponde a una condición de aguas altas, muestreada el 26/06/2002, con nivel en Concepción del Uruguay medido igual a 3,75 m (IGM), en Colón 4,50 m (IGM) y caudal igual a 10.000 m<sup>3</sup>/s (calculado con el modelo MIKE 11). En la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos en inmediaciones de la descarga de Colón y en Banco Pelay considerando los coeficientes de dispersión longitudinal y transversal indicados en cada gráfico.

Se puede apreciar en la Figura 3 que las concentraciones medidas (indicadas en forma numérica), son superiores a 1000 UFC/100ml en inmediaciones de la costa argentina aguas abajo de la descarga de Colón y son del orden de 140 UFC/100ml en la costa opuesta, valor que puede estimarse como “natural” a la altura de Paysandú, y que se debe a fuentes ubicadas aguas arriba (posiblemente desde Concordia – Salto). Si descontamos ese valor se pueden estimar las concentraciones “medidas” causadas por la descarga de Colón.

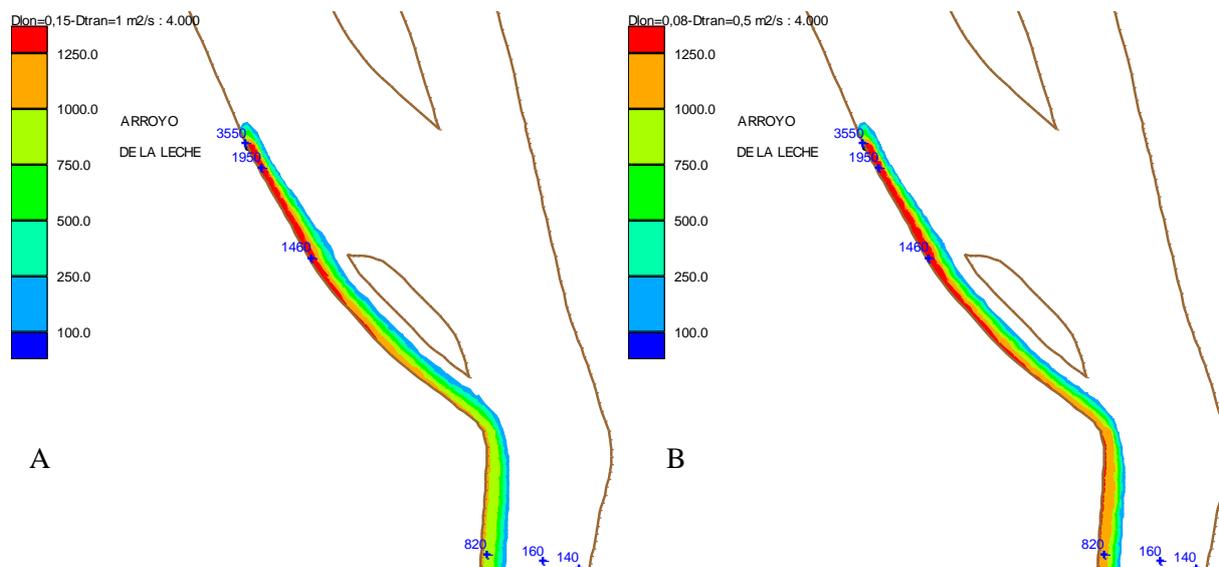


Figura 3. Concentraciones aguas debajo de Colón en función de los coeficientes de dispersión

Para la condición de aguas bajas no resultó factible bajar los coeficientes de dispersión a los valores requeridos debido a la generación de inestabilidades en el modelo RMA4. Se pudo observar claramente que los flujos de contaminantes de ambas márgenes se mantienen separados a la altura de Banco Pelay.

A continuación en la Tabla 2, para un caudal de río de 1300 m<sup>3</sup>/s, se establece a partir de los distintos vuelcos la influencia que tiene cada uno de ellos sobre un sitio ubicado sobre la costa en los balnearios del tramo en estudio, considerando las descargas tal como se mencionan anteriormente (situación actual).

Q1300	FrigLasCamelias UFC/100ml	AJuanSantos UFC/100ml	ALaLeche UFC/100ml	ASacra UFC/100ml	ALaCurtiembre UFC/100ml
BalnearioSanJosé	149	0	0	0	0
BalnearioNorteColon	129	0	1	0	0
BalnearioPiedrasColoradas	102	0	11	0	0
BalnearioMunicipalColon	101	0	137	0	0
IslaCaridad	80	0	1335	0	0
BalnearioMunicipalPaysandú	0	0	0	0	534
IslaAlmiron	2	0	3	266	37
PasoVera	45	0	535	0	0
BalnearioBancoPelay	44	0	518	0	0
IslaCambacua	35	0	358	0	1
BalnearioItape	41	0	464	0	0

Tabla 2. Contaminación bacteriológica, producida por las distintas descargas sobre los balnearios locales (Caudal de río 1300 m<sup>3</sup>/s).

Como conclusión inicial se puede destacar el impacto que produce el vuelco cloacal del Arroyo La Leche, producido por la falta de mantenimiento, o mal funcionamiento de las piletas de tratamiento de la ciudad de Colón, primero sobre la isla Caridad ubicada frente a Paysandú, y posteriormente luego de recorrer unos kilómetros sobre el Balneario Paso Vera y el Balneario Banco Pelay de la ciudad de Concepción del Uruguay. Se puede apreciar que los valores representan aproximadamente el doble de lo permitido para Uso 2 (CARU), aguas

para baño con contacto directo, lo que nos indica que con la sola influencia de este vuelco puntual estaríamos sobrepasando el límite permitido.

De forma gráfica, se presenta en la Figura 4 el impacto producido por ambos caudales en estudio, sobre los balnearios del río Uruguay.

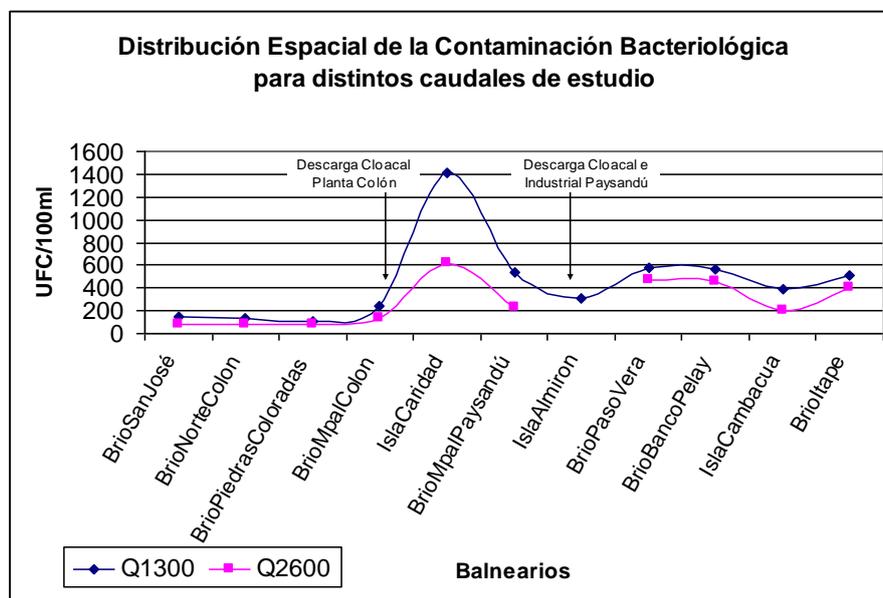


Figura 4. Distribución espacial de la contaminación bacteriológica en los balnearios del río, para distintos caudales en estudio (1300 y 2600 m<sup>3</sup>/s).

A partir del estudio individual de las descargas, y su influencia, considerando la evolución demográfica de las ciudades a la vera del río Uruguay se plantearon 5 hipótesis o escenarios (años 2006, 2009, 2019, 1029 y 2039) que resumen la evolución temporal del incremento contaminante por crecimiento de la población en las ciudades y de las industrias actualmente más importantes con descarga al río.

Las concentraciones obtenidas se muestran en forma lineal en la Figura 5 indicando el incremento de carga contaminante por el estudio de las diferentes hipótesis, para un caudal de simulación de 2600 m<sup>3</sup>/s. En la misma se observa el mayor efecto producido sobre las playas de la isla Caridad, y los Balnearios Paso Vera y Banco Pelay.

A modo de ejemplo se presentan en la Figura 6 los resultados obtenidos para las condiciones de las descargas en el año 2019, en diferentes escalas espaciales y de rangos de concentración.

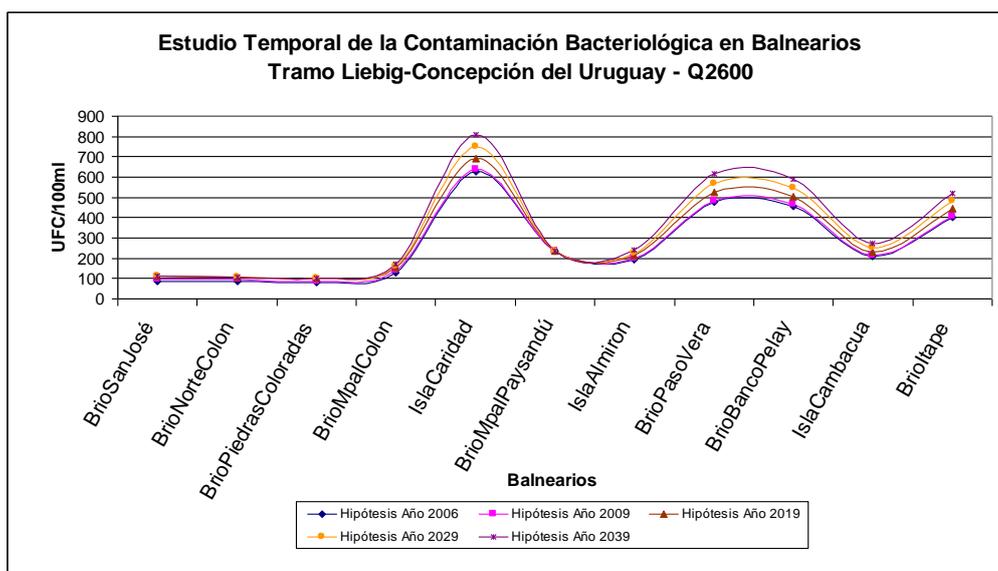


Figura 5. Estudio temporal de la contaminación bacteriológica en los balnearios del río, para las distintas hipótesis de estudio, y para un caudal de simulación de 2600 m<sup>3</sup>/s.

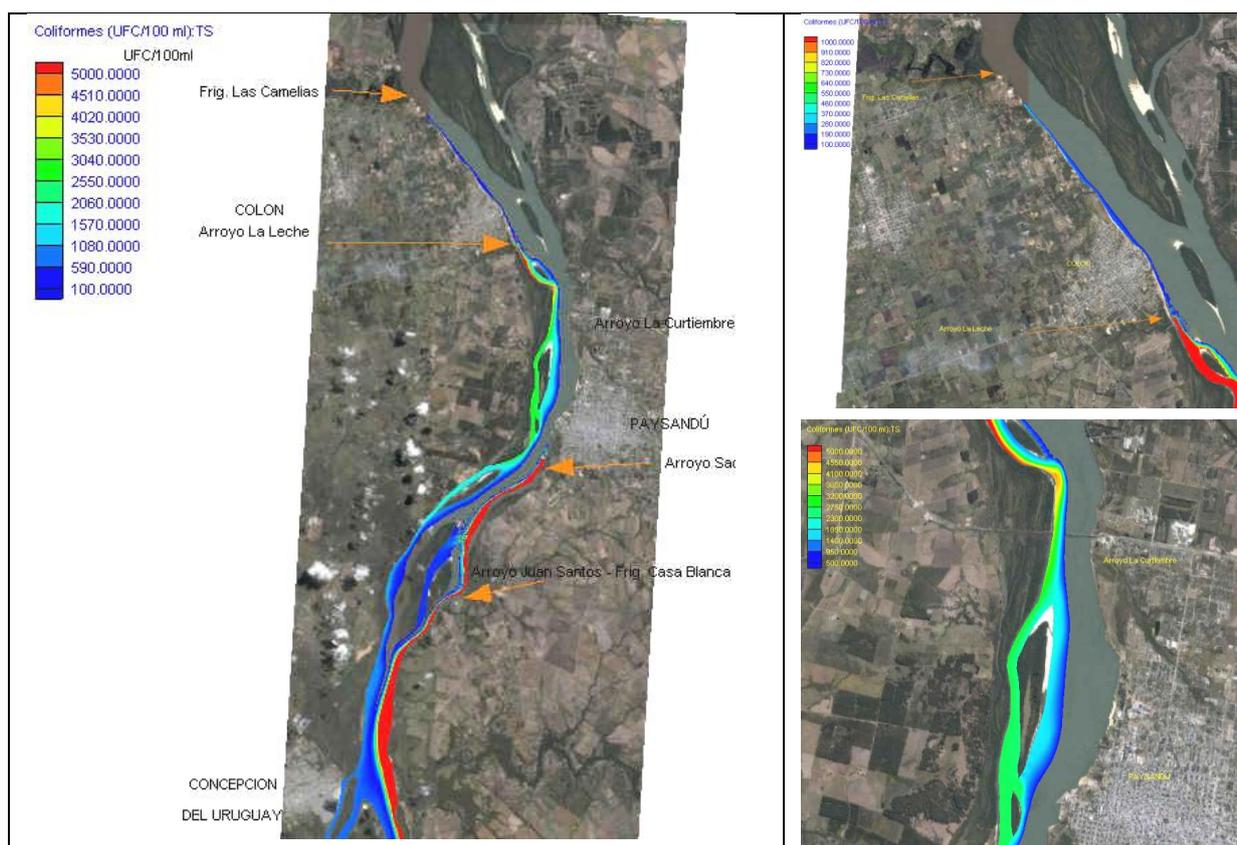


Figura 6. Modelación Bidimensional para la Hipótesis N° 3 (Año 2019)

## 5. CONCLUSIONES

En estudios anteriores del GECRU se había alcanzado la conclusión de que las altas concentraciones de coliformes fecales que se registran en ocasiones en la zona balnearia de Banco Pelay en Concepción del Uruguay se deben principalmente al efecto de descargas variables en la margen argentina, identificadas particularmente en la zona de Colón. Esta conclusión ha sido probada en este trabajo a través de estudios bidimensionales de contaminación.

Los balnearios de la ciudad de Colón y San José son afectados en primera instancia por la contaminación bacteriana proveniente del área de Salto-Concordia, y luego por la descarga del Frigorífico Las Camelias (que procesa unos 120.000 pollos diarios), la cual si bien es de menor magnitud, por su cercanía a las zonas balnearias y por descargarse cerca de la costa, afecta principalmente a las playas de la margen fluvial, logrando entre estos dos valores superar, para caudales bajos de río, el estándar establecido por CARU para balneabilidad. Situación informada a la empresa, procediendo esta a mejorar el tratamiento de efluentes.

Para condiciones de aguas medias/bajas, luego de transcurrir 1 día y unas 8 a 12 horas de tiempo, la pluma generada por la descarga cloacal de Colón, que en ocasiones presenta niveles de contaminación más compatibles con una descarga cruda que con el efluente de una planta de tratamiento, alcanza la ciudad de Concepción del Uruguay, barriendo el Banco Pelay con concentraciones que pueden superar las 5000 UFC/100ml, claramente excesivas para el uso balneario del mismo. La pluma generada por el frigorífico Las Camelias alcanza la Playa Norte de Colón en unas 3 horas, con valores de coliformes fecales que pueden encontrarse en el entorno de los 750 a 2500 UFC/100ml cuando las piletas de tratamiento no funcionan, valores excesivamente altos para el uso recreativo.

La descarga de Paysandú se mantiene básicamente en cercanías de la margen uruguaya dentro del área estudiada, con concentraciones de coliformes fecales superiores a los 10.000 UFC/100ml.

El estudio evolutivo permitió demostrar que la carga contaminante sobre los balnearios de margen argentina, al final del período de 30 años considerado, produciría un incremento de aproximadamente un 63% en la concentración con respecto a la actual, por lo que se concluye que resulta imperioso realizar obras de saneamiento que puedan reducir estas importantes cargas contaminantes.

Resulta entonces necesario controlar en primer lugar las descargas industriales que se hacen sobre la margen del Río Uruguay aguas arriba de Colón, mejorando las condiciones de calidad de agua en las playas de esta localidad y de San José, las cuales presentan fluctuaciones con niveles de concentración de bacterias coliformes fecales muy superiores al nivel Guía para uso balneario, cuando estas descargas se realizan sin tratamiento previo.

También es necesaria la mejora del tratamiento de los efluentes de la Ciudad de Colón para mejorar drásticamente la calidad de agua en la margen argentina aguas abajo, incluyendo las islas que son utilizadas por los turistas para recreación y baño, y principalmente en el balneario Banco Pelay de Concepción del Uruguay, donde en ocasiones los niveles de contaminación pueden exceder los niveles Guía.

## UN MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN EN CUERPOS DE AGUAS POCO PROFUNDAS

Stoklas, Cecilia I.<sup>1</sup> y Cortínez, Víctor H.<sup>1,2\*</sup>

1: Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada (CIMTA)  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
C.P. B8000LMI  
e-mail: stoklas@frbb.utn.edu.ar

2: CONICET  
e-mail: vcortine@frbb.utn.edu.ar

**Palabras clave:** Modelo Hidrodinámico, Transporte de Contaminantes, Problema Adjunto, Optimización.

**Resumen.** *Se propone un método de diseño óptimo de plantas de depuración de efluentes urbanos que permita garantizar un nivel de contaminación tolerable en zonas de resguardo ambiental tales como playas, o zonas de pesca, buscando simultáneamente minimizar el correspondiente costo económico. Se adoptan como variables de diseño la capacidad y la localización de la tubería de descarga de cada planta de tratamiento. La presente formulación se basa en una solución por elementos finitos (EF) del problema hidrodinámico para establecer el régimen de corrientes. Luego se emplea el modelo adjunto al problema de transporte de contaminantes a los efectos de obtener una fórmula analítica para determinar la concentración de contaminantes en las zonas protegidas. Tales fórmulas son utilizadas en una búsqueda estocástica para la determinación de las variables óptimas de diseño. El modelo desarrollado es implementado en el sistema de elementos finitos FlexPDE. Mediante algunos ejemplos se muestra la muy buena eficiencia del modelo presentado.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El vertido de aguas servidas en ríos cercanos a centros urbanos es una situación seria de contaminación ambiental. Generalmente los niveles de concentración de tales efluentes superan la capacidad natural de autodepuración del medio.

Por esta razón, resulta imprescindible definir indicadores de calidad de agua y establecer las correspondientes concentraciones máximas admisibles para garantizar un nivel de contaminación tolerable en zonas predeterminadas de resguardo ambiental tales como playas, reservas naturales o tomas de agua potable. Para el estudio de contaminación debida al vertido de aguas residuales urbanas, la concentración de *coliformes fecales* (CF) puede ser considerado un indicador adecuado, puesto que los efluentes industriales no poseen en general tales bacterias.

A los efectos de no superar las restricciones ambientales en las zonas aludidas, las aguas residuales deben ser purificadas previamente a su vertido. Debido a los elevados costos de construcción y operación de las plantas de tratamiento, es necesario adoptar una solución de compromiso técnico – económico – ambiental en su diseño [1,2].

Entre las variables de diseño más importantes de una planta de tratamiento pueden citarse su capacidad, es decir el máximo caudal de aguas servidas que puede purificar, y la ubicación de la salida de la tubería submarina de descarga, ya que éstas magnitudes tienen una marcada incidencia en el costo económico así como en las máximas concentraciones de CF en el río.

Consecuentemente, en este trabajo, se desarrolla un modelo computacional para el diseño óptimo de las variables aludidas procurando mantener la concentración de CF en zonas de resguardo ambiental por debajo de los valores de tolerancia, y al mismo tiempo buscando minimizar los costos de construcción y operación. A los efectos de resolver tal problema, en primer lugar debe obtenerse una expresión matemática del costo de tratamiento en términos de las variables aludidas. Por otra parte, se necesita un método adecuado para la estimación de los niveles de concentración de CF en las zonas protegidas. Es posible calcular tales magnitudes mediante soluciones de elementos finitos (EF) de las ecuaciones hidrodinámicas y de transporte de sustancias disueltas que gobiernan tal problema. Sin embargo, atendiendo al elevado número de simulaciones que deben realizarse en el proceso de diseño, se desarrollan fórmulas analíticas para la evaluación de la concentración en las zonas protegidas haciendo uso de coeficientes de influencia. Éstos son obtenidos convenientemente a partir de unas pocas soluciones de EF del modelo hidrodinámico, como así también del denominado problema adjunto de transporte. Con tales fórmulas analíticas el proceso de diseño óptimo es rápidamente resuelto a través de una búsqueda aleatoria.

El modelo computacional planteado es implementado en el programa de elementos finitos FlexPDE. Se estudian algunos ejemplos a fin de comprender las ventajas de la presente metodología y reflexionar acerca de su extensión a otras situaciones de ingeniería ambiental.

## 2. DISEÑO ÓPTIMO

El problema ambiental considerado consiste en el diseño de  $N$  plantas de tratamiento de efluentes urbanos que vierten a un río, las aguas servidas en exceso a sus capacidades.

Se pretende obtener las coordenadas de las salidas de tuberías de descarga y las capacidades de tratamiento a los efectos de minimizar el costo total de construcción y operación, procurando que las concentraciones de CF no superen valores admisibles en ciertas zonas preseleccionadas dentro del río. El problema planteado corresponde al caso en el cual todas las plantas dependen de la misma organización.

A continuación se definen las expresiones matemáticas de los costos asociados, para luego formular el problema de optimización.

### 2.1. Determinación de los costos

Los costos están directamente relacionados al sistema de depuración que se pretenda implementar, los cuales dependen de varios factores tales como la magnitud del caudal a tratar, su composición, el financiamiento del proyecto y por supuesto del nivel de depuración final que se desee. De esta forma los costos pueden agruparse en costos de inversión ( $C_I$ ), relacionados con las actividades necesarias para la construcción de la infraestructura física de la planta de tratamiento, los costos de funcionamiento ( $C_{MO}$ ) que incluyen mano de obra,

energía, entre otros, y los costos de construcción de la tubería de descarga submarina ( $C_L$ ). De acuerdo a la referencia [3], los costos de inversión para un tratamiento secundario pueden estimarse como:

$$C_{Ij} = \frac{8988}{vu} QT_j^s, \quad (1)$$

donde  $C_I$  es el costo inicial de inversión [US\$/años] de la planta  $j$ ,  $vu$  corresponde a la vida útil estimada de la planta de tratamiento,  $s$  es un parámetro menor que 1 y  $QT_j$  es la capacidad de la planta en [m<sup>3</sup>/día].

Por otra parte es posible expresar los costos de mantenimiento y operación  $C_{MOj}$  [US\$/año] de la planta mediante una fracción del costo de inversión [3].

El costo por construcción de la tubería de descarga [US\$/año] puede ser considerado proporcional a su longitud [4]. Luego, los costos totales anuales se calculan sumando las contribuciones aludidas:

$$CT_j = \frac{8988}{(1-r)vu} QT_j^s + \frac{k}{vu} \sqrt{(x_j - Fx_j)^2 + (y_j - Fy_j)^2}, \quad (2)$$

siendo  $k$  el costo por metro construido de tubería [US\$/m],  $Fx_j$  y  $Fy_j$  corresponden a las coordenadas de descarga de efluentes,  $x_j$  e  $y_j$  son las coordenadas de las plantas de tratamiento. Por otra parte  $r$  es una función de la capacidad de la planta que puede expresarse (obtenida a partir de la información brindada en [3]) de la siguiente manera:

$$r = 0.352 + 6.557 \times 10^{-6} QT_j - 6.429 \times 10^{-11} QT_j^2, \quad (3)$$

## 2.2. Formulación del problema de diseño óptimo

La capacidad de tratamiento necesaria de cada planta puede expresarse en la forma:

$$QT_j = Q_j(1 - \beta_j) \quad (4)$$

donde  $Q_j$  corresponde al caudal volumétrico de aguas residuales que arriba a cada planta y  $(1-\beta_j)$  indica el grado de purificación de la planta. Consecuentemente, las descargas volumétricas residuales (sin purificar) vendrán dadas por  $\beta_j Q_j$ .

La función objetivo  $Z$  a minimizar corresponde al costo total de las  $N$  plantas de tratamiento existentes.

Entonces, el problema de diseño óptimo puede ser formulado de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar} \quad Z = \sum_{j=1}^N \frac{8988}{(1-r)vu} Q_j^s (1 - \beta_j)^s + \frac{k}{vu} \sqrt{(x_j - Fx_j)^2 + (y_j - Fy_j)^2} \quad (5)$$

sujeto a las restricciones

$$0 \leq \beta_j \leq 1, \quad (Fx_j, Fy_j) \in R_j \quad \text{y} \quad C_i \leq C_{admissible}$$

donde  $\beta_j$  es el factor de reducción en las tasas de vertido y varía entre 0 (reducción máxima) y 1 (reducción mínima),  $R_j$  es el área posible de descarga para la tubería  $j$ -ésima,  $C_i$  es la concentración de CF en la zona protegida  $i$ -ésima y  $C_{admisible}$  es la concentración máxima permitida.

Es posible en forma alternativa, incorporar alguna de las restricciones en la función objetivo mediante un término de penalización. De esta manera el problema anterior es redefinido de la siguiente forma equivalente:

$$\text{Minimizar} \quad Z_p = Z + \sum_{j=1}^N \lambda_i (C_i - C_{admisible})^2, \quad (6)$$

donde  $Z$  es la función objetivo definida en (5) y  $\lambda_i$  es el factor de penalización para la  $i$ -ésima zona protegida, dado por:

$$\lambda_i = \begin{cases} 0 & \text{si } (C_i \leq C_{admisible}) \\ 10^9 & \text{caso contrario} \end{cases}, \quad (7)$$

Así, cuando la restricción ambiental no se cumpla, la expresión (6) adoptará un valor muy grande y se descartará de las tantas soluciones posibles. Por otra parte las restricciones sobre las variables de diseño  $\beta_j$ ,  $Fx_j$  y  $Fy_j$  no varían.

### 3. MODELO HIDRODINÁMICO

El modelo hidrodinámico empleado está basado en la teoría de aguas poco profundas, las cuales consisten en una ecuación de continuidad y dos de movimiento, formuladas en un dominio bidimensional [5]. Reordenando tales ecuaciones y considerando que el régimen es estacionario, es posible obtener la siguiente ecuación gobernante:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho g H^2}{\alpha} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho g H^2}{\alpha} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\gamma W_x H}{\alpha} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\gamma W_y H}{\alpha} \right), \quad (8)$$

donde  $\rho$  es la densidad,  $g$  la gravedad,  $H$  la profundidad determinada por la diferencia entre las cotas correspondientes a la superficie libre  $\eta$  y el fondo  $Z_b$  (ver Figura 1),  $\gamma$  y  $a$  son los parámetros de fricción en la superficie y en el fondo, definidas de acuerdo a [6]:

$$\gamma = \rho C_s \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad \alpha = \rho C_b \sqrt{U^2 + V^2} \quad (9)$$

siendo  $C_b$  y  $C_s$  los coeficientes de fricción adimensional del orden de 0.0025 y  $18 \times 10^{-6}$  respectivamente,  $W_x$  y  $W_y$  son las componentes  $x$  e  $y$  de velocidad del viento y  $U$  y  $V$  las velocidades horizontales de la corriente promediadas en la profundidad que se expresan en función de  $\eta$  de la siguiente manera:

$$U = \frac{-\rho g H}{\alpha} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\gamma W_x}{\alpha}, \quad V = \frac{-\rho g H}{\alpha} \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\gamma W_y}{\alpha} \quad (10)$$

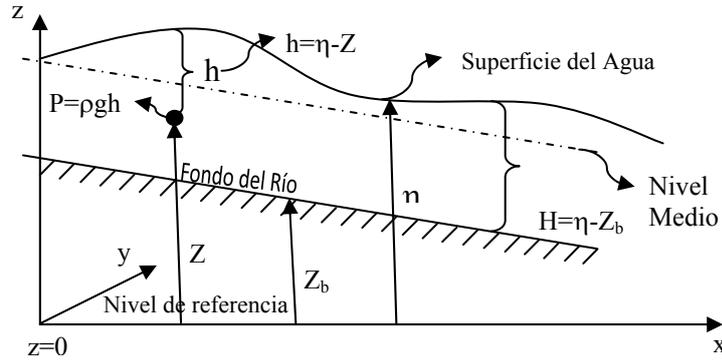


Figura 1: Sistema de coordenadas y plano de referencia

Las condiciones de borde para este problema se establecen como:

$$q_n = \frac{-\rho g H^2}{\alpha} \frac{\partial \eta}{\partial n} + \frac{\gamma W_n H}{\alpha}, \quad (11)$$

donde  $q_n$  representa el flujo normal saliente al borde (conocido).

#### 4. MODELO DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

La evolución de la concentración de una sustancia en un medio acuático se puede modelar mediante la ecuación de transporte de sustancias disueltas [5] cuya forma bidimensional es:

$$UH \frac{\partial C}{\partial x} + VH \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( HK \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( HK \frac{\partial C}{\partial y} \right) + H\sigma C = \sum_{j=1}^N P_j \delta(x - x_j) \delta(y - y_j), \quad (12)$$

donde  $C(x,y)$  representa la concentración de CF,  $K$  el coeficiente de dispersión,  $\sigma$  la constante de velocidad de degradación de la sustancia,  $N$  el número de fuentes y  $\delta$  la función Delta de Dirac. Por otro lado,  $P_j$  es el flujo másico residual y se expresa de la siguiente manera:

$$P_j = C_j^0 Q_j \beta_j, \quad (13)$$

siendo  $C_j^0$  la concentración de CF correspondiente al flujo residual saliendo por la tubería de descarga.

La ecuación (12) está sujeta a las siguientes condiciones de frontera:

$$-HK \frac{\partial C}{\partial n} + \varepsilon H V_n C = 0, \quad (14)$$

donde  $V_n$  es la velocidad normal a los puntos del borde del dominio,  $\varepsilon = 1$  en bordes impermeables y en puntos de la superficie de entrada de flujo, mientras que  $\varepsilon = 0$  en puntos de la superficie de salida de flujo [8].

#### 5. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE INFLUENCIA: PROBLEMA ADJUNTO

Es posible obtener fórmulas analíticas para la determinación de las concentraciones de CF en las zonas protegidas, mediante la aplicación de los llamados coeficientes de influencia

$G_{ij}$  asociados a la expresión (12). Tales coeficientes miden el efecto que tiene un flujo unitario de contaminante de la tubería de descarga  $j$  sobre cada área protegida  $i$ .

Multiplicando tales coeficientes por las descargas máxicas de cada tubería y sumando luego todas las contribuciones, se llega a las siguientes fórmulas para determinar las concentraciones en dichas áreas:

$$C(x_i, y_i) = \sum_{j=1}^N C_j^0 Q_j \beta_j G_{ij} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, NZ \quad , \quad (15)$$

donde  $NZ$  es el número de zonas protegidas.

Para obtener los coeficientes de influencia  $G_{ij}$  se hace uso del problema adjunto asociado a las ecuaciones (12) y (14) [7].

Para ello se multiplica la ecuación (12) por una función arbitraria  $G_i$  y luego se integra por partes, obteniendo así:

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} C \left( -\frac{\partial G_i}{\partial x} UH - \frac{\partial G_i}{\partial y} VH - \frac{\partial}{\partial x} \left( KH \frac{\partial G_i}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( KH \frac{\partial G_i}{\partial y} \right) + H\sigma G_i \right) dx dy = \\ = \sum_{j=1}^N C_j^0 Q_j \beta_j G_i(x_j, y_j) + \oint_{\Gamma} \left( G_i H C V_n + KH \frac{\partial G_i}{\partial n} C - G_i KH \frac{\partial C}{\partial n} \right) ds \end{aligned} \quad (16)$$

A partir de esta última expresión, se obtiene la fórmula (15) si se definen los coeficientes de influencia como:

$$G_{ij} = G_i(x_j, y_j) \quad , \quad (17)$$

se consideran las condiciones de borde (14) y se selecciona la función  $G_i(x, y)$  de tal manera que verifique la siguiente ecuación diferencial:

$$-\frac{\partial G_i}{\partial x} UH - \frac{\partial G_i}{\partial y} VH - \frac{\partial}{\partial x} \left( HK \frac{\partial G_i}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( HK \frac{\partial G_i}{\partial y} \right) + H\sigma G_i = \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \quad , \quad (18)$$

con la condición de borde:

$$KH \frac{\partial G_i}{\partial n} + \tau G_i H V_n = 0 \quad , \quad (19)$$

donde  $\tau = 0$  en bordes impermeables y en puntos de la superficie de entrada de flujo, mientras que  $\tau = 1$  en puntos de la superficie de salida de flujo. Las expresiones (18) y (19) corresponden al problema adjunto del sistema (12) y (14).

Debe observarse que para obtener los coeficientes de influencia es necesario resolver el problema de contorno dado por las ecuaciones (18) y (19) tantas veces como zonas protegidas se consideren (independientemente de la ubicación de las salidas de tuberías o de su cantidad). Como éstas son limitadas en número, tal estrategia presupone un notable ahorro de tiempo computacional.

## 6. MÉTODO DE SOLUCIÓN

A efectos de resolver el problema de diseño óptimo planteado, es necesario en primer lugar obtener las velocidades hidrodinámicas. Para ello se resuelven las ecuaciones (8) y (11) mediante EF.

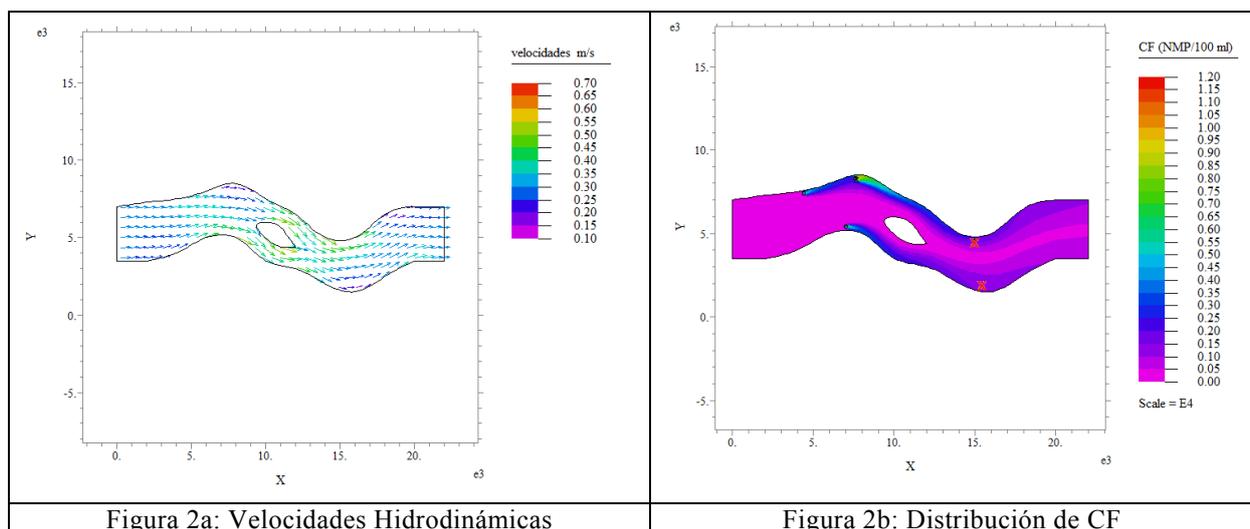
Conociendo la velocidad de la corriente es posible resolver, también mediante EF, los problemas de transporte adjuntos (18) y (19) para cada una de las zonas protegidas consideradas, determinando así los coeficientes de influencia mediante la expresión (17). Luego el problema se reduce a una búsqueda aleatoria para las variables de diseño  $\beta_j$ ,  $Fx_j$  y  $Fy_j$ , evaluando para cada caso la función objetivo generalizada dada por (6). Es claro que las variables óptimas serán aquellas que minimicen tal función.

Todo este procedimiento se ha implementado en el programa de elementos FlexPDE.

## 7. RESULTADOS NUMÉRICOS

A modo de ejemplo, se trata de un tramo de río de 20 kilómetros de largo, con una profundidad y pendiente media de 6 m y 1cm/km respectivamente, sobre el cual se vierten efluentes cloacales sin depurar provenientes de tres ciudades, encontrándose dos zonas de resguardo ambiental aguas abajo de dichas descargas. Tales descargas generan valores de concentración en las zonas protegidas que superan el valor límite (1000 NMP/100ml), evidenciando la necesidad de depurar las aguas residuales a los efectos de reducir dichas cargas contaminantes.

En la Figura 2a se indican las velocidades hidrodinámicas y en la Figura 2b se muestra la distribución de CF, donde se observan las concentraciones en las zonas protegidas (indicadas con cruces rojas) de 1900 (arriba) y 1400 (abajo) NMP/100ml respectivamente. Bajo este escenario se analiza la construcción de tres plantas de tratamiento considerando cuatro criterios de diseño.



El primer criterio supone la construcción de tales plantas con una eficiencia de tratamiento del 60%. En el segundo se considera que la depuración depende de la suma de todas las contribuciones de las descargas  $j$ , multiplicado por el mayor coeficiente de influencia que

existe en la zona protegida  $i$  de acuerdo a las distintas ubicaciones de las fuentes  $j$ ; en la tercera se supone que el grado de purificación  $\beta$  es el mismo para todas las fuentes  $j$ . Las correspondientes expresiones para los coeficientes de reducción de acuerdo a estos criterios vienen dadas respectivamente por [8]:

$$\beta_j \leq \frac{C_{admisible}}{(\sum_{j=1}^N C_j^0 Q_j) \text{Max}_i(G_{ij})} \quad , \quad \beta \leq \frac{C_{admisible}}{\sum_{j=1}^N C_j^0 Q_j \beta_j G_{ij}} \quad (20)$$

En estos tres criterios de diseño se considera que las localizaciones de las tuberías de descargas son las mismas, encontrándose cerca de la costa. Finalmente el último criterio corresponde al diseño óptimo, mediante la utilización del modelo propuesto en el presente trabajo. Los valores obtenidos mediante los cuatro criterios definidos anteriormente son comparados en la siguiente Tabla 1. Puede observarse que todos los enfoques propuestos cumplen con las restricciones ambientales. Sin embargo, el desarrollo del diseño óptimo implica el menor costo total, y si bien esta alternativa prevé una longitud mucho mayor de tubería con respecto a los otros enfoques, este costo se compensa con la baja capacidad mínima necesaria de cada una de las plantas (aproximadamente entre un 10 y 20 % del flujo volumétrico proveniente de las ciudades). El costo óptimo es del orden del 40% de la opción más cara. En la Figura 3a se muestran las localizaciones óptimas de las tuberías de descarga, correspondientes a las plantas de tratamiento indicadas con círculos amarillos. La distribución espacial de concentración en cercanías a las dos áreas de resguardo ambiental (indicadas mediante cruces) se muestra en la Figura 3b.

		<i>Enfoque 1</i>	<i>Enfoque 2</i>	<i>Enfoque 3</i>	<i>Enfoque 4</i>
<i>Nivel de CF en áreas protegidas</i>	<i>Zona 1</i>	898	598	1000	805
	<i>Zona 2</i>	745	425	832	302
<i>Factor de reducción</i>	<i>B1</i>	0,4	0,31	0,45	0,79
	<i>B2</i>	0,4	0,23		0,99
	<i>B3</i>	0,4	0,23		0,92
<i>Longitud de tubería</i>	<i>L1</i>	300	300	300	1681
	<i>L2</i>	400	400	400	1664
	<i>L3</i>	400	400	400	1492
<i>Coordenadas de descargas.</i>	$X_1, Y_1$	(4400; 7500)	(4400; 7500)	(4400; 7500)	(4738; 6152)
	$X_2, Y_2$	(7600; 8400)	(7600; 8400)	(7600; 8400)	(7368; 7152)
	$X_3, Y_3$	(7000; 5200)	(7000; 5200)	(7000; 5200)	(7245; 6272)
<i>Costo total anual (US\$/año)</i>	<i>CT</i>	3.460.274	4.002.109	3.250.685	<b>1.797.457</b>

Tabla 1: Comparación de valores de los enfoques calculados

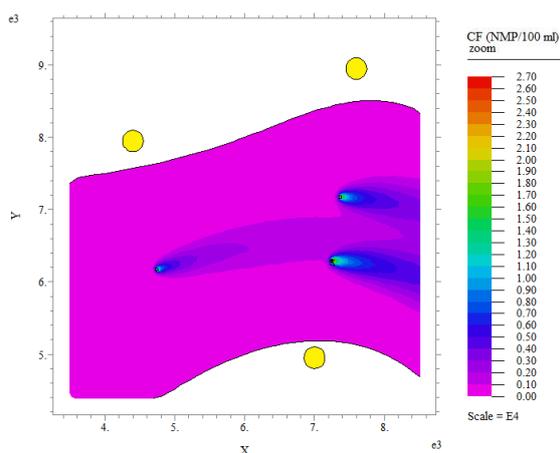


Figura 3a: Concentración de CF en zonas de descarga.

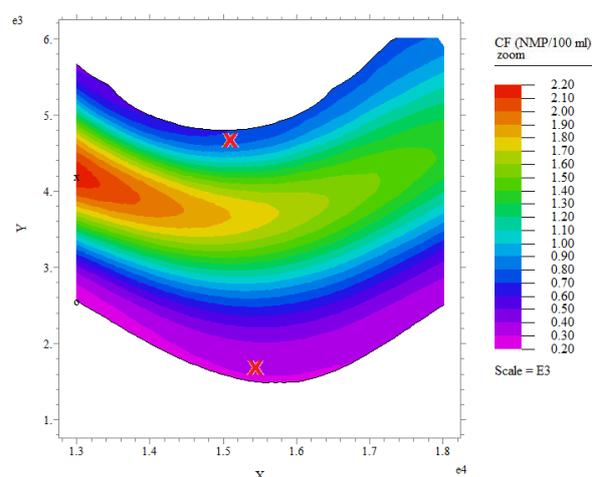


Figura 3b: Concentración de CF en zonas protegidas.

## 8. CONCLUSIONES

- Se obtuvo un modelo computacional integrado con un proceso de simulación por EF, que brinda una solución óptima de diseño en forma muy expeditiva.
- Tal modelo es aplicable para el diseño de situaciones más complejas que contemplen, por ejemplo, mayor cantidad de zonas de resguardo ambiental como así también de plantas de tratamiento de efluentes, indicadores ambientales, o la incorporación de nuevas políticas económicas que afecten los costos.
- El enfoque puede ser extendido para situaciones hidrodinámicas no estacionarias, tales como las que ocurren en un estuario [9]. Los autores están actualmente trabajando en tal generalización.

## AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se ha realizado en el marco del proyecto “Modelos matemáticos en Ingeniería Ambiental: Problemas Directos e Inversos” (CIMTA, Universidad Tecnológica Nacional). Asimismo forma parte del trabajo de tesis desarrollado por C.I. Stoklas, bajo la dirección del Dr. V.H. Cortínez, para obtener el título de Dr. en Ingeniería en la Facultad Regional de Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional.

## REFERENCIAS

- [1] S.R. Murty Yandamuri , K. Srinivasan y S. Murty Bhallamudi , “Multiobjective Optimal Waste Load Allocation Models for Rivers using Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II”, *Journal of Water Planning and Management*. Vol.132, p.133-143, (2006)
- [2] L. Yu y N.N.B. Salvador “Modeling Water Quality in Rivers”, *American Journal of Applied Sciences*. Vol. 2, 4, p. 881-886, (2005)
- [3] Eran Friedler y Ehud Pisanty, “Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy marking”, *Water Research*. Vol. 40, pp. 3751-3758, (2006)
- [4] Henry J. Salas. “Emisarios submarinos, enfoque general, conceptos básicos de diseño”. *OPS/CEPIS/PUB/ 00.52*, (2000)

- [5] H. Rubin y J. Atkinson. *Environmental Fluid Mechanics*. Ed. Marcel Dekker Inc. (2001)
- [6] I.K. Tsanis, U. Saied. "A wind-driven hydrodynamic and pollutant transport model", *Global NEST Journal*. Vol. 9, N°2, p.117-131. (2007)
- [7] G. I. Marchuk. *Mathematical Models in Environmental Problems*. North Holland. (1986)
- [8] D. Parra-Guevara y Yuri N. Skiba "Industrial pollution transport. Part 2. Control of industrial emissions". *Environmental Modeling and Assessment*. Vol.5, p. 177-184 (2000)
- [9] L.J. Álvarez- Vázquez , E. Balsa- Canto y A. Martínez "Optimal design and operation of a wastewater purification system", *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 79, p. 668-682, (2008).

## COMUNICACIÓN

# POTENCIAL CONTAMINACIÓN CAUSADA POR PILAS Y BATERÍAS ENTERRADAS, SOBRE AGUAS SUPERFICIALES Y NAPAS FREÁTICAS

Luján, Juan Carlos

CEDIA  
Facultad Regional Tucumán –  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rivadavia 1050 (4000) -Tucumán (Argentina)  
e-mail : jclujan53@yahoo.com.ar

**Palabras clave:** Pilas, lixiviados, metales pesados, mercurio, cadmio y níquel.

**Resumen.** *Se realizó un estudio experimental analítico de laboratorio, identificando las sustancias contenidas en el electrolito de las pilas que se comercializan en el mercado nacional y su grado de toxicidad humana y ambiental (eco-toxicidad). También se realizaron experiencias sobre el comportamiento de dichas celdas desarmadas y expuestas a la acción de aguas ácidas, neutras y alcalinas, a los efectos de determinar la movilidad de los metales pesados hacia dichos medios. Así mismo se enterraron pilas enteras y desarmadas en columnas de tierra natural, siendo sometidas a la acción de lluvias artificiales con agua destilada, analizándose los lixiviados. El estudio lleva un período de 24 meses y todavía no se encuentran metales pesados en los lixiviados, sin embargo fue inmediata la aparición de incrementos en el pH debido a la naturaleza alcalina de algunas pilas. También se encontraron cambios significativos en la conductividad eléctrica y hubo hallazgos de metales no citados por la bibliografía. Una vez concluidos los estudios, está previsto transferir los resultados del programa a las autoridades provinciales, municipales y comunales, para otorgarles una base técnica y científica que les permita fijar políticas ambientales.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Las pilas son causa de preocupación debido a las sustancias tóxicas presentes en sus componentes, entre ellas el mercurio, el cadmio, el níquel y otros metales pesados [2]. El definir una política sobre la disposición final o el tratamiento y reciclado de estos residuos, resulta imperioso para proteger el impacto ambiental de los mismos sobre cursos superficiales y subterráneos de agua [3]. En la Argentina, según datos del INDEC, ingresaron en 1991 4 millones de pilas botón [4]. En Suiza las pilas se consideran residuos peligrosos y está prohibido enterrarlas o depositarlas en rellenos sanitarios. En este país se recupera el mercurio, el zinc y el manganeso para ser reciclados, además de alentar el uso de equipos con pilas recargables, teniendo dichos aparatos un descuento del 10% y una etiqueta con el símbolo ISO, que alerta al consumidor sobre la peligrosidad de las pilas, recordando al usuario que una vez agotadas deben retornar al punto de venta [5-7].

En Austria desde 1991 se prohíbe arrojarlas con la basura común. En España desde 1993

ya no se fabrican pilas con alto contenido de mercurio y en Alemania obligan al fabricante y al comerciante a reciclarlas desde 1993.

La Asociación Europea de Fabricantes de Pilas Secas (Euro pile), es una entidad que representa a varias compañías y propuso e instrumentó un programa de reducción gradual del uso del mercurio [8]. Desde 1994 ya no se fabrican pilas con dicho metal pesados.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se usaron las siguientes herramientas para el desarme de pilas y baterías: pinzas de fuerza, pinzas de corte, estiletes de acero, morsa y espátulas de acero inoxidable, ácido nítrico diluído para la descontaminación de herramientas. Instrumentales analíticos: peachímetro, conductímetro, espectrofotómetro rango visible, balanza analítica y fotómetro de llama con filtros interferenciales para Li, Ba, Na y K.

Se fabricaron 4 Columnas de PVC de 1,5 metros de longitud, dispuestas verticalmente y cargadas con tierra estratificada natural con cubetas colectoras de lixiviados, conteniendo pilas enteras y desarmadas a 20 cm de la superficie superior.

Se usó agua destilada con una conductividad de 5  $\mu$ S/cm y un pH de 6,7 para simular lluvias periódicas.

Se desintegraron medio centenar de pilas y baterías recargables de distintas marcas y características, realizando marchas analíticas para identificar los metales tóxicos.

Se aplicó un régimen de lluvias simuladas con agua destilada de 10 mm diarios hasta alcanzar 800 mm anuales.

Se utilizaron los métodos analíticos colorimétricos y espectrofotométricos estándar para el análisis de aguas residuales. APHA- AWWA-WPCF [1].

Las mediciones de sodio, potasio y bario, se realizaron por fotometría de llama.

## **3. DESARROLLO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES**

Los primeros ensayos consistieron en desarmar pilas vaciando su contenido electrolítico sobre distintos tipos de soluciones acuosas y estacionarlas para luego estudiar la liberación de sustancias contaminantes.

Al cabo de 24 meses de exposición de pilas desarmadas en el agua destilada, en aguas naturales de ríos, ligeramente alcalinas, y en solución de ácido nítrico al 10% v v, se obtuvieron los siguientes hallazgos:

### **3.1. Liberación de metales en agua destilada y aguas naturales**

-No se encontraron los siguientes metales pesados (Hg, Cd, Ni, As, Cr)

-Se observó un brusco incremento en el pH y la conductividad ocasionados por las pilas alcalinas

-Se encontró litio, potasio y bario, este último no citado en la bibliografía general sobre pilas.

### **3.2. Liberación de metales en ácido nítrico**

En los extractos utilizando ácido nítrico, se encontraron mercurio, cadmio, níquel, cobre y bario, en tanto que fueron negativas las pruebas para arsénico iii y v, para plomo y para cromo iii y vi; se entiende por pruebas negativas, concentraciones por debajo del límite de

detección del método analítico utilizado.

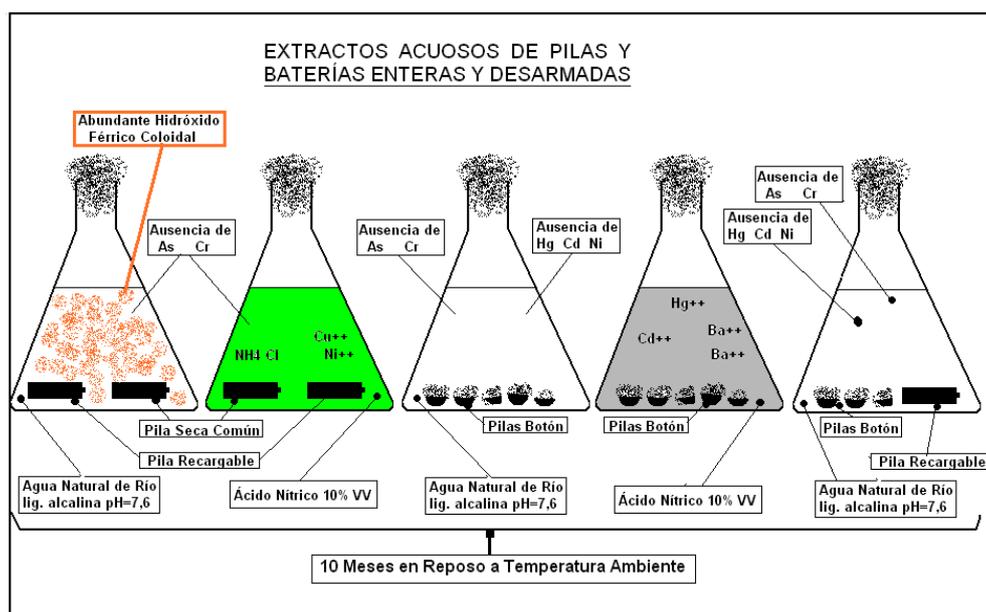


Figura 1. Ensayos de liberación de elementos químicos por parte de pilas desarmadas hacia soluciones acuosas neutras, ligeramente alcalinas y ácidas.

### 3.3. Liberación de metales en agua destilada y aguas naturales

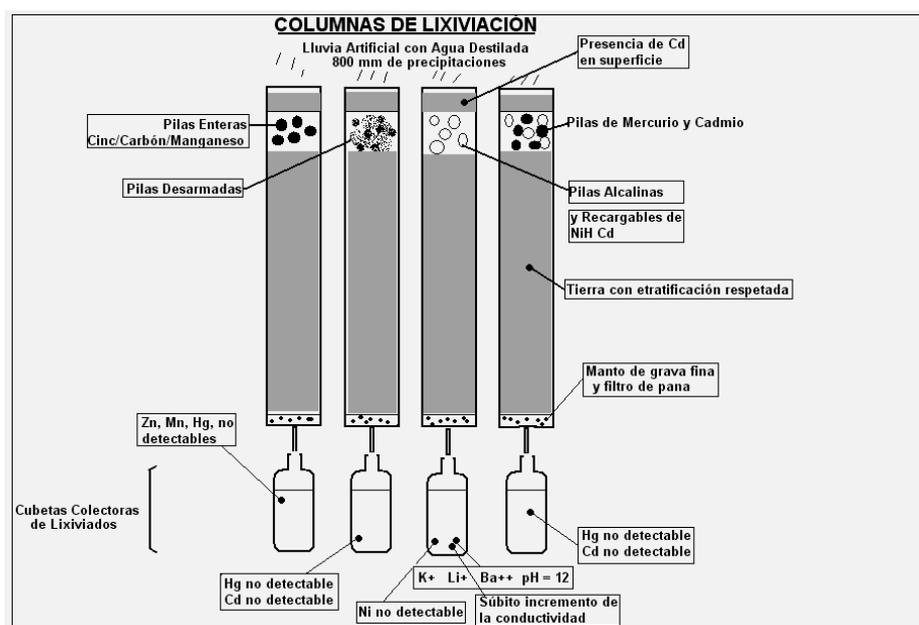
Paralelamente se estudiaron periódicamente durante 10 meses los lixiviados producidos con lluvias artificiales de agua destilada sobre columnas conteniendo pilas enterradas.

Se monitorearon parámetros potenciométricos, conductimétricos y el pH de los extractos acuosos. Los estudios analíticos realizados hasta el presente sobre los percolados, evidenciaron la presencia de los siguientes elementos químicos procedentes de las pilas desarmadas y enterradas en las columnas:

-Se encontraron cantidades apreciables de: Sodio Na, Potasio K, Litio Li, Bario Ba e Hidróxido de Potasio K OH, provenientes de pilas y baterías alcalinas.

-No se detectaron hasta el momento los siguientes contaminantes: mercurio Hg, cadmio Cd, níquel Ni, bario Ba, arsénico As III - V, cromo Cr III - VI.

-Se encontraron vestigios de cadmio Cd producido por difusión capilar hacia la superficie de tierra de las columnas, procedente de pilas recargables de Ni-Cd, producido por la presencia de una constante capa húmeda en la parte superior sometida a lluvias constantes. Probablemente este fenómeno se pueda revertir aumentando la profundidad del sitio de enterramiento de las pilas y será motivo de próximos ensayos.



**Figura 2** Columnas de lixiviación conteniendo pilas enterradas y sujetas a lluvias artificiales, en la parte inferior se recogen líquidos que son estudiados para la búsqueda de metales pesados y otros contaminantes.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El mercurio de las pilas, al encontrarse bajo la forma de amalgama, no se libera en los extractos acuosos neutros o ligeramente alcalinos, en cambio si se disuelve rápidamente en soluciones ácidas fuertes tales como el ácido nítrico, situación que no se da en las condiciones naturales de un agua de río. Comportamiento similar ocurre con el cadmio y el níquel.

Se encontró vestigios de cadmio en la superficie de las columnas, lo cual puede considerarse irrelevante por ahora y sujeto a revertirse modificando la profundidad del enterramiento de las pilas.

El impacto más inmediato encontrado, fue un brusco ascenso del ph y la conductividad, causado por las pilas alcalinas, no obstante la capacidad amortiguadora y dilutora de los cursos subterráneos de agua, haría poco preocupante este fenómeno. Resulta prematuro arriesgar diagnósticos concluyentes a 10 meses de iniciados los estudios, considerando que el plan está calculado para 5 años de duración, pero ya se observan tendencias que indican ausencia de impactos inmediatos por parte de metales pesados, ya que la presencia de arcillas en los suelos ofrece una gran capacidad capturadora de metales pesados.

Está previsto continuar durante años estudiando el comportamiento de las columnas de tierra y sus lixiviados, como así también extender el presente trabajo a otros residuos electrónicos, procurando neutralizar o encontrar un procedimiento para reciclar los elementos tóxicos hallados.

#### REFERENCIAS

[1]. Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas de desecho. 19 Ed. APHA – AWWA

- WPCF Editorial Panamericana México DF 2001
- [2].Fullea García José, Acumuladores Electroquímicos. Ed Mc Graw – Hill Serie Electrotecnologías N° 6 , Cap. 10 – 11, pgs 153 a 190, 1999
- [3].Mantell G.H , 2002 ,Ingeniería Electroquímica. Ed Mc Graw Hill, Cap 6 -7 pg 120 - 134
- [4].<http://www.inti.gov.ar/sabercomo/inti-0104/inti2.htm>
- [5].<http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/068-03-2000/068-alfredomarcipar.html>
- [6].<http://www.alihuen.org.ar/informacion-en-general/residuos-peligrosos-generados-en-nuestras-casas.html>
- [7].<http://www.ecovolta.org.ar>



## COMUNICACIÓN

### **PROYECTO: ESTUDIO DE LA DINÁMICA (ESPACIAL Y TEMPORAL) DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIALES Y URBANOS EN LA ZONA DEL POLO PETROQUÍMICO Y ÁREA PORTUARIA DE BAHÍA BLANCA.**

**Cifuentes, Olga; Escudero, Daniela y Medus, Silvina**

Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA)  
UTN - Facultad Regional Bahía Blanca  
11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca  
ocifuentes@speedy.com.ar; daniela\_escudero@yahoo.es; silvina\_medus@yahoo.com.ar  
<http://www.frbb.utn.edu.ar>

**Palabras clave:** Calidad de Agua, Efluentes, Contaminación, Estuario, Polo Industrial

**Resumen.** *El proyecto de investigación aplicada que se presenta, consiste en la validación, procesamiento estadístico y análisis de los registros de caudales y resultados de monitoreos de las descargas industriales y urbanas ubicadas en la zona industrial y portuaria de Bahía Blanca (Argentina). Estos registros son resultado del Programa Integral de Monitoreo (Polo Petroquímico y Área Portuaria) cuyo objeto es evaluar la calidad ambiental en la zona interna del estuario en el marco de la aplicación de la Ley Pcia. Buenos Aires N° 12530. Se cuenta con datos relevados a lo largo de 10 años, que posibilitan caracterizar y determinar la evolución espacial y temporal de los efluentes, proporcionando un soporte técnico de ayuda a los organismos de control para implementar alternativas de gestión, a fin de asegurar el desarrollo sustentable del estuario. Se investiga para los contaminantes no domiciliarios que aparecen en los efluentes cloacales, el tipo de industrias del ejido urbano que podrían generarlos, identificándolas sobre las distintas cuencas colectoras de la ciudad. Un Sistema de Información Geográfica permite la visualización de las descargas, puntos de control y los resultados obtenidos, de manera de poder vincular éstos con los monitoreos realizados sobre el estuario.*

## INTRODUCCIÓN

El sector involucrado en el Proyecto, es el Área Industrial y Portuaria de Bahía Blanca, establecida por Ley Pcia. Buenos Aires N° 12.530. Sobre este área se encuentran las descargas de los efluentes industriales y urbanos que son volcados en el Estuario, que se encuentra localizado entre los 38°42' y los 39° 15' de Latitud Sur y los 61°45' y 62°29' de Longitud Oeste, con una traza de dirección NO-SE de aproximadamente 80 km.

Sobre su costa norte se encuentran los asentamientos urbanos de General Cerri, Ingeniero White, Bahía Blanca y Punta Alta, y los puertos Cuatrerros, Galván, Ingeniero White, Rosales y las instalaciones militares de la Base Naval Puerto Belgrano. El canal principal es diariamente navegado por embarcaciones pesqueras, deportivas y buques de carga. La zona

portuaria e industrial constituye uno de los ámbitos del país mejor ubicados para la producción y exportación. Incluye variadas empresas e industrias, algunas de ellas de complejidad a los efectos de la aplicación de las normativas ambientales: Transportadora de Gas del Sur, Refinería Petrobrás, PBB Polisur (EPE, LHCI, LHC II, LDPE y Barcaza), Solvay Indupa, Air Liquide Argentina, Profertil, Compañía Mega, Central Termoeléctrica Luis Piedrabuena, Cargill, Toepfer Internacional Argentina, Terminal Bahía Blanca, Oleaginosa Moreno Hnos, amarre del Buque Regasificador, Tegral (Posta para Inflamables) y próximamente Dreyfus y Vale.

Este conjunto de empresas desarrollan diversas actividades productivas de gran importancia para la economía bahiense, bonaerense y nacional, tales como: refinados del petróleo, producción de etileno, polietileno, PVC, fertilizantes, soda cáustica, amoníaco, almacenamiento, despacho y procesamiento de cereales y oleaginosas, carga y descarga de combustibles y derivados de petróleo y regasificación.

Este panorama productivo está asociado a una amplia y compleja variedad de materias primas, productos y desechos de procesos (sólidos, líquidos y gaseosos), que obligan a una adecuada gestión por parte de cada generador del residuo, como así también un obligado control de esta gestión por parte del Estado.

En el veril Norte, en la zona interna del estuario se vuelcan los efluentes cloacales de las tres plantas de tratamiento de la ciudad de Bahía Blanca.

Sobre el área industrial portuaria concurren competencias legales nacionales, provinciales y municipales, lo que implica que desde las distintas jurisdicciones se desarrollan actuaciones de vigilancia para el cumplimiento de la legislación vigente, existiendo facultades compartidas entre los distintos organismos.

El Comité Técnico Ejecutivo (CTE) municipal, creado por Ley N° 12530, genera anualmente un documento denominado “Programa Integral de Monitoreo PIM (Polo Petroquímico y Área Portuaria)” que contiene los resultados de los muestreos que realiza este organismo. La información del Sub Programa de Monitoreo y Control de Efluentes Contaminantes del Agua y la Atmósfera (con más de 7000 datos de análisis realizados a efluentes líquidos industriales y cloacales), son auditados por la Comisión Técnica del Comité de Control y Monitoreo (CCyM), la que anualmente insiste sobre la necesidad de procesar más la información, para que no sean solo datos volcados en informes, sino que los mismos sean evaluados a fin de marcar tendencias y obtener conclusiones que ayuden a fortalecer la gestión y minimizar impactos. La información del PIM puede ser consultada en:

<http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/pim.html>

Asimismo, el CTE cuenta con un Sub Programa de Cuerpos Receptores (estuario, atmósfera, cursos de agua superficiales y subterráneos). En lo que respecta al estuario, se han elegido estratégicamente ocho estaciones de toma de muestras sobre el canal principal de navegación, donde se monitorea el agua de mar, los sedimentos y peces, tareas que fueron encomendadas al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO). Los resultados de estos monitoreos, se encuentran volcados en documentos emitidos por este instituto y como síntesis en los informes anuales del PIM, y pueden ser consultados en:

<http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/mediosambientales.html>

La Figura 1 muestra la ubicación de las descargas industriales y urbanas cuyos efluentes son monitoreados.



**Figura 1: Ubicación de Descargas Industriales y Urbanas Monitoreadas**

El proyecto de investigación aplicada que se presenta, tendrá una duración de 24 meses y consiste en analizar los registros existentes de caudales y resultados de monitoreos de efluentes de las descargas industriales y cloacales ubicadas en el área industrial portuaria, a fin de evaluarlos y satisfacer las expectativas del CCyM. Paralelamente se investigará para los contaminantes no domiciliarios que aparecen en los efluentes cloacales, el tipo de industrias que podrían ser las generadoras y se identificarán las mismas, sobre las distintas cuencas colectoras de Bahía Blanca. A partir de las acciones precedentes se evaluarán tendencias y emitirán las sugerencias que se consideren pertinentes. El proyecto contempla además implementar un Sistema de Información Geográfica (SIG), con los distintos puntos de descarga geoposicionados, donde se podrá visualizar cada vuelco con el resultado de los monitoreos de cada uno de ellos y los puntos de control seleccionados por el IADO en la zona interior del estuario a fin de vincular ambas investigaciones.

## **OBJETIVOS**

Como objetivo general del Proyecto de Investigación se considera aportar al CTE, una herramienta de apoyo a la gestión, basada en datos fehacientes, que le permita tomar decisiones sobre fundamentos técnicos, a fin de recuperar la calidad natural del estuario, minimizando el ingreso de contaminantes al mismo. Para concretar este aporte, es necesario alcanzar los siguientes objetivos particulares:

- Validar los registros existentes a fin de trabajar sobre datos seguros y procesarlos estadísticamente, para que la información que surja de la investigación genere un documento sobre el cual puedan avanzar otros grupos de investigación.
- Emitir sugerencias que permitan minimizar costos en monitoreos de aquellas descargas que, en función del análisis de tendencias, muestren ausencias de algunos parámetros, o intensificar los controles en aquellos en las que fuera necesario.
- Identificar los parámetros más representativos de cada una de las descargas, la asiduidad de las infracciones respecto de los máximos establecidos por la legislación vigente y las cargas máxicas de contaminantes aportados.
- Identificar el tipo de industrias ubicadas sobre el ejido urbano que podrían ser generadoras de los contaminantes encontrados en los efluentes cloacales, a fin de brindar una herramienta de gestión que permita enfocar los esfuerzos de control para minimizarlos desde el origen.
- Construir indicadores que permitan realizar un seguimiento en pos de preservar la sustentabilidad del estuario.
- Implementar en un SIG los distintos puntos de descarga geoposicionados con su correspondiente información asociada, capacitar para su utilización e ingreso de datos, al personal del CTE o a quien el Municipio considere conveniente.
- Relacionar la información precedente con los resultados de los monitoreos que realiza el IADO sobre la zona interior el Estuario de Bahía Blanca, a fin de vincular ambas investigaciones.

## **METODOLOGÍA.**

El proyecto se basa en registros de resultados de análisis disponibles realizados a partir del año 2001, a los efluentes industriales y cloacales del área portuaria industrial, aportados por el CTE a la UTN FRBB y que además, se encuentran disponibles para la comunidad científica en la página web de la Municipalidad de Bahía Blanca.

Se prevé un trabajo conjunto con profesionales del CTE, a fin de obtener la información necesaria sobre las distintas industrias, sobre las metodologías de análisis y sus protocolos, y todo lo inherente para el correcto procesamiento de los datos, unificando criterios.

Para cumplir con los objetivos del proyecto y a fin de trabajar sobre datos seguros, los registros suministrados serán previamente validados, para posteriormente ser procesados, cargados y sistematizados en una base de datos. El mencionado procesamiento estadístico y validación se realizará según metodología propuesta por la EPA (Environmental Protection Agency).

Los datos existentes (parámetros de calidad y caudales), se analizarán estadísticamente según los siguientes ítems:

- por descarga industrial y/o cloacal
- anualmente y a lo largo del período analizado
- por parámetro y en su conjunto
- comparativamente entre descargas industriales y cloacales
- respecto a los máximos establecidos para vuelco a curso receptor fijados por la legislación vigente, identificando los vuelcos directos e indirectos al estuario.

Como resultado de este análisis se podrán caracterizar las distintas descargas identificando los parámetros más significativos de cada una y evaluando tendencias sobre su evolución en el tiempo. Se emitirán sugerencias para minimizar costos y/o de lo contrario intensificar los controles donde fuere necesario.

Asimismo, se realizará un estudio comparativo de las distintas descargas de efluentes líquidos industriales y cloacales, se analizará la asiduidad de las infracciones labradas de acuerdo a la legislación vigente y se determinarán las cargas máxicas de contaminantes aportadas por cada una de ellas.

Particularmente, se indagará y analizará la procedencia de algunos metales (ej. zinc, cadmio, etc.) que comprobadamente han pasado a integrar músculos y vísceras de especies marinas de interés comercial y de consumo masivo, según estudios realizados por el IADO desde el año 2000 al 2010. Se investigará en bibliografía disponible sobre el origen de los elementos que se detecten a partir de los resultados de análisis de los efluentes cloacales y se vinculará con las posibles fuentes en el área urbana.

Paralelamente se describirá la actividad de cada una de las industrias ubicadas sobre el área industrial portuaria bajo la órbita de la Ley N° 12.530 y se identificarán otras industrias y/o actividades ubicadas fuera del ámbito de aplicación de la mencionada Ley, que volcando sus efluentes a la red colectora urbana, pudieran ser las generadoras de contaminantes considerados de origen no domiciliario que, como resultado de los monitoreos, se encuentren en las descargas cloacales de la ciudad.

Como resultado de todos los análisis mencionados precedentemente, se determinarán indicadores de calidad y cantidad para evaluar tendencias.

Se geoposicionarán todas las descargas de efluentes industriales y cloacales ubicados sobre el área industrial portuaria, volcándose la información en un SIG. Esto posibilitará la visualización de cada vuelco con el resultado de los monitoreos de cada uno de ellos y su relación con los estudios realizados por el IADO sobre puntos estratégicamente seleccionados sobre el estuario para el seguimiento y control de los contaminantes.

Se prevé volcar toda la información con la cartografía correspondiente, en un documento único, que previamente será convalidado con los profesionales del CTE.

Se contempla además, capacitar al personal del CTE o a quien el Municipio considere necesario, para la posterior alimentación y utilización del SIG implementado, a fin de dar continuidad al ingreso sistematizado de los datos.

## **IMPACTO DEL PROYECTO**

La importancia del proyecto consiste en que el documento que surja contará con registros validados, procesados estadísticamente, evaluados espacial y temporalmente, que marcarán tendencias. Además, permitirá identificar indicadores significativos para el seguimiento y alerta temprana. Esta información aportará:

- ✓ A nivel local, al CTE (Municipalidad de Bahía Blanca), una herramienta de apoyo a la gestión de control de efluentes líquidos, que le permita tomar decisiones sobre fundamentos técnicos y minimizar costos.
- ✓ A nivel provincial, a organismos como Organismo Provincial para Desarrollo Sostenible (OPDS) y Autoridad del Agua (ADA), información sistematizada y factible de ser visualizada a través de un SIG, para agilizar futuras tomas de decisión

ante reclamos locales y contar con una herramienta estadística con las tendencias de cada descarga industrial y/o cloacal, ante la necesidad de sanción por incumplimiento de los máximos admitidos por la legislación vigente.

- ✓ A nivel nacional e internacional, un documento con registros validados y sistematizados, a partir del cual en el futuro puedan avanzar otros grupos y líneas de investigación.

Mediante este análisis, podrá determinarse si los parámetros detectados en el ecosistema estuarial provienen de los efluentes industriales del Área Industrial Portuaria o de los efluentes cloacales de la ciudad de Bahía Blanca originados fuera del ámbito de jurisdicción de la Ley N°12.530.

Conocer el origen y características de los contaminantes, facilitará el control necesario para erradicarlos o disminuirlos desde su origen, lo que redundará en el mejoramiento de la calidad ambiental posibilitando un desarrollo sustentable del Estuario.

### **AVANCES DEL PROYECTO**

A la fecha se han evaluado los caudales de cada descarga y los valores máximos de DBO y DQO de cada una de las industrias, resultando que para estos parámetros, *las cargas máxicas* aportadas por los efluentes de las plantas depuradoras cloacales de Bahía Blanca superan las cargas máxicas aportadas por la industria considerada como la más conflictiva.

Además, los efluentes urbanos aportan un caudal superior a la sumatoria de caudales aportados por el polo petroquímico en su conjunto y transportan contaminantes descargados a la red por pequeñas y medianas empresas establecidas en el ejido urbano.

Por otra parte, del volumen de registros resultado de los monitoreos del CTE, surge que existe un estricto control realizado a las industrias del polo petroquímico industrial que no se corresponde con el débil control realizado a los efluentes urbanos (de los más de 7000 datos un mínimo porcentaje corresponde a los efluentes cloacales, siendo los mismos recientes).

Como avance del proyecto recién homologado, se vuelcan en Tabla N°1 los niveles máxicos detectados para cada parámetro medido en los Efluentes Industriales, en ámbito de control del CTE, durante el período 2001-2010 y en Tabla N°2, los niveles máxicos medidos para cada parámetro en la descarga cloacal de la Cuenca de Bahía Blanca durante el período 2001-2010.

PARAMETRO vs. EMPRESA	CUERPO RECEPTOR DEL VUELCO (Res. ADA 336/03)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	TEMPERATURA (°C)	PH	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	SS 10 <sup>3</sup> (ml/l)	SS 2h (ml/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SULFUROS (mg/l)	FENÓLES (mg/l)	HIERRO (mg/l)	CROMO VI (mg/l)	ZINC (mg/l)	PLOMO (mg/l)	CADMIO (mg/l)	COBRE (mg/l)	MERCURIO (mg/l)	NITROGENO AMONIAICAL (mg/l)	COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)
	LIMITE ADMISIBLE A COLECTORA CLOACAL*	--	< 45	7-10	--	AUS	< 5	< 200	< 700	< 2	< 2	< 10	< 0.2	< 5	< 1	< 0.5	< 2	< 0.02	< 75	< 20.000
AIR LIQUIDE	COLLECT. CLOACAL	5,6	29,6	9,4	2,510	0,1	0,1	15	83	N/A	N/A	88	N/A	4,8	< 0,02	0,0035	N/A	N/A	N/A	--
	LIMITE ADMISIBLE A PLUVIAL O CURSO SUPERFICIAL	--	< 45	6,5- 10	--	AUS	< 1	< 50	< 250	< 1	< 0,5	< 2	< 0,2	< 2	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,005	< 25	< 2.000
SOLVAY INDUPA	CONDUCTO PLUVIAL	380	43,1	12	100.000	180	74	370	880	0,09	0,33	1,46	0,09	0,47	< 0,02	< 0,005	0,21	0,037	N/A	9.000
PBB-HDPE	CONDUCTO PLUVIAL	389	43,9	9	5.860	< 0,1	0,8	40	200	0,05	0,32	3,88	0,03	0,29	< 0,05	0,005	0,26	N/A	N/A	< 2.000
PBB-LHC1	CONDUCTO PLUVIAL	180	34,6	8,8	32.400	1,1	1,4	75	306	0,084	0,365	1,71	0,15	0,5	< 0,02	0,005	0,93	N/A	N/A	3.500
PBB-LDPE	CONDUCTO PLUVIAL	25	32	8,4	3.460	0,1	0,4	33	220	0,048	0,092	1	0,1	0,17	< 0,05	0,005	0,13	N/A	N/A	< 2.000
PBB-LHC2	CONDUCTO PLUVIAL	369,5	45,9	10	21.400	0,3	5	118	1472	0,144	0,78	1,07	0,12	0,64	< 0,05	0,005	0,59	N/A	N/A	< 2.000
PBB-EPE	CONDUCTO PLUVIAL	25	29,4	9	4.300	< 0,1	< 0,1	28	240	0,06	0,31	2	0,06	0,89	< 0,05	0,005	0,83	N/A	N/A	< 2.000
TGSCERRI	CURSO SUPERFICIAL	28	34,2	10	3.400	< 0,1	3,5	70	370	0,09	0,06	3,2	N/A	0,79	< 0,02	< 0,005	0,09	N/A	N/A	< 2.000
CIA. MEGA	ESTUARIO**	52	32,7	8,9	3.300	0,1	0,1	76	208	N/A	N/A	0,67	0,05	1,09	< 0,02	< 0,005	0,07	N/A	13,8	3.000
PETROBRAS	ESTUARIO**	80	25,2	9,3	7.490	0,5	0,9	110	395	0,11	0,154	2,64	0,06	0,51	< 0,05	< 0,005	0,13	0,0023	N/A	< 2.000
CARGILL	ESTUARIO**	99	45	10,4	28.700	500	250	830	6560	2,54	N/A	6,1	< 0,01	0,44	< 0,02	< 0,005	N/A	N/A	9,8	< 2.000
PROPERTIL	ESTUARIO**	750	37,5	9,8	5.900	5	6,5	46	219	N/A	N/A	4,6	0,06	1,19	< 0,02	0,067	0,2	N/A	59,8	< 2.000
TERMOLÉCTRICA	ESTUARIO**	80.000	35,3	8,9	69.000	< 0,1	0,6	N/A	80	N/A	N/A	0,11	N/A	0,05	< 0,02	< 0,005	< 0,006	N/A	N/A	< 2.000

Tabla N°1: Niveles máximos detectados en Efluentes Industriales en el ámbito de control del CTE: Período 2001 – 2010\*

PARAMETRO vs. EMPRESA	CUERPO RECEPTOR DEL VUELCO (Res. ADA 336/03)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	TEMPERATURA (°C)	PH	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	SS 10 <sup>3</sup> (ml/l)	SS 2h (ml/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SULFUROS (mg/l)	FENÓLES (mg/l)	HIERRO (mg/l)	CROMO VI (mg/l)	ZINC (mg/l)	PLOMO (mg/l)	CADMIO (mg/l)	COBRE (mg/l)	MERCURIO (mg/l)	NITROGENO AMONIAICAL (mg/l)	COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)
	LIMITE ADMISIBLE A PLUVIAL O CURSO SUPERFICIAL	--	< 45	6,5- 10	--	AUS	< 1	< 50	< 250	< 1	< 0,5	< 2	< 0,2	< 2	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,005	< 25	< 2.000
TERCERA CUENCA	CURSO SUPERFICIAL	200	24	7,5	N/A	6	7	197	563	N/A	N/A	N/A	N/A	0,1	N/A	< 0,005	N/A	N/A	N/A	1.000.000
PPAL. BAHIA BCA	ESTUARIO**	2708	27,8	8,8	1951	4,5	5,5	N/A	482	N/A	0,116	N/A	0,005	0,68	0,007	0,015	0,0116	0,0027	61	--

Tabla N°2: Niveles máximos detectados en Efluentes Industriales en el ámbito de control del CTE: Período 2001 – 2010\*

**REFERENCIAS:**

- \* Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua de la Pcia. de Buenos Aires (A.D.A.)
- \*\* Estuario es considerado por el A.D.A. como cuerpo superficial
- N/A No aplica



## COMUNICACIÓN

### PROYECTO: SISTEMAS DE TRATAMIENTO ALTERNATIVOS PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EFLUENTES DOMICILIARIOS, INDUSTRIALES Y AGROPECUARIOS.

**Panigatti, M. Cecilia; Boglione, Rosana; Griffa, Carina; Boidi, Marco; Cassina, David y Schierano, M. Celeste**

Laboratorio de Química  
Facultad Regional Rafaela.  
Universidad Tecnológica Nacional.  
Bv. Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina  
TE: (03492) 432702. FAX: (03492) 432710  
maria.panigatti@frra.utn.edu.ar, cecipanigatti@hotmail.com

**Palabras clave:** Análisis Fisicoquímico, Análisis Bacteriológico, Aguas, Efluentes

**Resumen.** *En la ciudad de Rafaela y zona hay contaminación de aguas subterráneas, debido principalmente a la influencia de aguas negras, industriales y agropecuarias. En el presente proyecto, se propone diseñar y estudiar tratamientos que mitiguen las distintas problemáticas. Existen diferentes alternativas para la remoción de contaminantes de las aguas, sin embargo los costos son una limitante para la puesta en marcha de algunos tratamientos. Se estudiará el empleo de plantas acuáticas y de humedales para el tratamiento de aguas y efluentes. Para aquellos lugares donde no cuentan con el servicio de desagüe cloacal, se propone el diseño y ejecución de un sistema alternativo al pozo negro, constituido por una cámara séptica y un lecho filtrante. Se propone mejorar el manejo de los efluentes de los predios lecheros, de manera de disminuir la carga contaminante en el ingreso al sistema. Se plantea, la construcción de humedales para ampliar el tratamiento existente y mejorar la calidad del efluente tratado con el objetivo de su reutilización. Se estudiarán alternativas de mejora para la construcción de nuevas plantas de depuración en otros predios lecheros, que aún no cuentan con métodos adecuados, incluyendo como propuesta el tratamiento anaeróbico para obtención de biogás.*

#### 1. INTRODUCCION

El constante crecimiento demográfico ha producido un aumento de la contaminación ambiental, incluyendo aire, agua y suelo. Esta situación afecta la disponibilidad de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas que ha llevado a la comunidad científica a la búsqueda de soluciones para mantener un equilibrio en el medioambiente. Por otra parte, el incremento de la demanda de agua, hace necesario aplicar métodos de tratamiento de los efluentes domésticos e industriales para evitar la contaminación de los cuerpos de agua a los cuales se vierten, para un mejor cuidado del ambiente y de los recursos hídricos.

Recientemente, se han desarrollado las llamadas fitotecnologías que involucran el uso de plantas acuáticas para el abatimiento de metales y compuestos tóxicos del agua. Los

humedales son aquellos sistemas de tratamiento que utilizan plantas acuáticas y animales para el saneamiento de aguas y efluentes. Los humedales artificiales son una alternativa natural a los métodos de tratamientos de aguas de desecho y aguas contaminadas. Son sistemas pasivos de depuración que se caracterizan por su simplicidad de operación, bajo o nulo consumo energético, baja producción de residuos, bajo impacto ambiental sonoro y muy buena integración al medio ambiente.

El empleo de este tipo de sistemas se estudiará tanto para la eliminación de arsénico, fluor y nitrato en la potabilización de agua, como técnica de afino en el tratamiento de efluentes de predios lecheros ya existentes.

Por otra parte, se busca la implementación de prácticas que contribuyan a la sustentabilidad de los sistemas productivos lecheros, con el menor impacto ambiental. El tratamiento anaeróbico de los efluentes de las instalaciones de ordeño es una alternativa empleada por los países desarrollados. La ventaja de este tipo de sistemas es por un lado la obtención de biogás, el cual puede emplearse como combustible, y por otro un residuo estabilizado rico en nutrientes que se puede utilizar como enmienda orgánica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Estudiar alternativas de tratamiento de aguas y efluentes que resulten económicas, factibles de ser utilizadas, con bajo consumo energético para sanear la contaminación y remediar la problemática existente.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Estudiar y diseñar sistemas de tratamiento para potabilizar aguas subterráneas contaminadas con arsénico, fluor y nitratos, utilizando plantas acuáticas.
- Construir y estudiar un sistema compuesto por cámara séptica- zanja filtrante con relleno granular como alternativa de mejora respecto a los pozos negros existentes.
- Mejorar sistemas de tratamiento de efluentes en predios lecheros disminuyendo la carga contaminante en el ingreso al sistema y diseñando humedales situados luego de las lagunas de depuración.
- Aportar herramientas para lograr una producción rentable con un manejo ambiental adecuado.
- Contribuir a las investigaciones sobre la temática ambiental y a su difusión en el medio.

## **3. METODOLOGÍA**

El proyecto se divide en cuatro partes:

### **3.1. Tratamiento de aguas subterráneas con macrófitas.**

Se realizarán ensayos con distintas macrófitas a escala laboratorio para evaluar la disminución de arsénico, flúor, nitrato y sales en aguas subterráneas contaminadas.

En una primera etapa se seleccionarán diferentes plantas acuáticas existentes en la zona. Se estudiará cada una con el agregado de distintas concentraciones de los parámetros en estudio y a diferentes tiempos de exposición. La efectividad en la remoción de los contaminantes se

comprobará realizando análisis fisicoquímicos de las aguas a distintos intervalos de tiempo durante la experiencia.

Se estudiará la influencia de parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto, etc. Una vez encontrada/s la/s especies que tengan mayor tolerancia y capacidad de remoción y las condiciones de trabajo más adecuadas, se ampliará la experiencia a escala piloto, utilizando aguas subterráneas contaminadas con las especies en estudio.

### **3.2. Tratamiento alternativo de efluentes cloacales.**

Actualmente, las viviendas que no están conectadas a un desagüe cloacal, evacuan los líquidos servidos a pozos negros, los cuales generalmente no poseen una cámara séptica antes del vertido a dicho pozo. Este sistema, simple y de aparente “economía”, tiene múltiples desventajas e inconvenientes, siendo uno de los principales que no resuelva el problema sanitario contaminándose el agua subterránea.

Al no existir red de desagües cloacales, un sistema alternativo, más racional y adecuado que el simple pozo negro sería el constituido por cámara séptica y lecho filtrante.

En el presente proyecto se propone construir y estudiar un sistema compuesto por:

a) Cámara séptica.

b) Zanja filtrante constituida por cañería ranurada y un relleno granular.

En el estudio se propone trabajar y comparar el sistema tradicional de pozos negros con el sistema propuesto de cámara séptica - zanja filtrante. Para ello se construirán los dos sistemas de manera de poder realizar toma de muestras de efluentes a la entrada y salida del tratamiento para evaluar eficiencia de remoción.

A su vez se construirán pozos de monitoreo de agua subterránea cercanos a ambos sistemas de tratamiento. Se analizarán parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos periódicamente en las aguas para comparar la influencia de ambas técnicas en el agua subterránea.

### **3.3. Mejora en los sistemas de tratamientos de efluentes en predios lecheros.**

A partir de un sistema de lagunas existente, se realizarán propuestas para mejorar el manejo de los efluentes de tambo y de este modo disminuir la carga contaminante de los mismos en el ingreso al tratamiento. En base a las características del efluente a la salida del mencionado sistema, se diseñarán y proyectarán humedales situados luego de las lagunas de depuración. Se seleccionarán plantas acuáticas que se adapten a la carga orgánica del efluente de salida del sistema y que posean buena capacidad de remoción de los contaminantes.

Se estudiarán y propondrán alternativas de mejora para la construcción de nuevas plantas de depuración en otros predios lecheros, que aún no cuentan con métodos adecuados para la remoción de contaminantes.

Además se estudiará el tratamiento de los efluentes de tambo utilizando un reactor anaeróbico, obteniendo biogás y un líquido tratado y estabilizado con el fin de emplearlo como abono.

## **4. RESULTADOS ESPERADOS**

Desde el punto de vista del avance del conocimiento científico-tecnológico, el trabajo propuesto permitirá obtener datos de suma importancia. Los estudios a realizar poseen un alto

grado de desarrollo a futuro, ya que se buscan alternativas con bajo costo energético para ser utilizada en el tratamiento de aguas y efluentes. Se espera aumentar la conciencia tanto a nivel industrial, municipal como de productores agropecuarios de la importancia de la conservación del medio ambiente y de la posibilidad de considerar el uso de técnicas de tratamiento adecuadas que impliquen la disminución de la contaminación generada.

A través de los estudios propuestos, se buscan alternativas factibles, económicas y beneficiosas, que puedan llevar a cabo las empresas con los efluentes que actualmente en muchos casos representan un problema no resuelto.

## COMUNICACIÓN

### PRESENTACIÓN DE ARG Cap Net

Cifuentes, Olga<sup>1</sup>; Sartor, Aloma<sup>1</sup>; Mendoza, Valeria<sup>2</sup>

1: Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA)  
UTN - Facultad Regional Bahía Blanca  
11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca

ocifuentes@speedy.com.ar  
asartor@frbb.utn.edu.ar  
<http://www.frbb.utn.edu.ar>

2: Red Argentina de Capacitación en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ARG Cap Net)  
secretaria@argcapnet.org.ar  
<http://www.argcapnet.org.ar>

**Palabras clave:** ARG Cap Net, Red, Capacitación, Recursos Hídricos, GIRH

**Resumen.** *En el documento se presenta a la Red Argentina de Capacitación en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ARG Cap-Net), los miembros que la integran, las autoridades actuales, sus objetivos y actividades que lleva adelante.*

#### 1. INTRODUCCIÓN

La Red Argentina de Capacitación en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ARG Cap-Net) es una asociación civil sin fines de lucro, integrada por instituciones públicas y privadas que actúan en los ámbitos nacional, provincial y local en relación con la planificación, el uso, la preservación, la difusión y la capacitación sobre temas de recursos hídricos, con el propósito de formar recursos humanos y de fortalecer la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

ARG Cap Net fue creada el 25 de noviembre de 2002 en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral y está asociada a la Red Internacional de Desarrollo de Capacidades para la GIRH (Cap-Net) y a la Red Latinoamericana de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Integrada del Agua (LA-WETnet).

Es un programa promovido por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), asociado a Global Water Partnership (GWP) y financiado por el Ministerio Holandés de Asuntos Exteriores, Oficina de Servicios a Proyectos de las Naciones Unidas (UNOPS) y Institute for Water Education (UNESCO-IHE).

La misión de la Red es desarrollar capacidades y promover la generación de conocimientos que faciliten la instrumentación de la GIRH en individuos, organizaciones y la sociedad argentina en su conjunto, mediante su accionar, el intercambio y la cooperación entre sus miembros. Las facultades de estos órganos, así como los aspectos referidos a objetivos, acciones, membresía y financiamiento de la Red, están definidas en el Reglamento de ARG

Cap-Net, que fue aprobado por los miembros fundadores y actualmente se encuentra en proceso de modificación.

## 2. MIEMBROS DE LA RED

Actualmente, integran ARG Cap-Net veinticinco instituciones:

Agua y Saneamiento Argentino (AySA); Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria (AIDIS Argentina); Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO); Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua (CPCNA); Departamento Provincial de Aguas de la Provincia de Río Negro (DPA); Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH); Instituto Nacional del Agua (INA); Universidad de Nacional de Buenos Aires (UBA); Universidad de la Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino (UFASTA); Universidad Nacional de Córdoba (UNC); Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo); Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam); Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB); Universidad Nacional de La Plata (UNLP); Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMP); Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC); Universidad Nacional de Rosario (UNR); Universidad Nacional de Salta (UNSA); Universidad Nacional San Juan (UNSB); Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE); Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN); Universidad Nacional del Litoral (UNL); Universidad Nacional del Nordeste (UNNE); Universidad Nacional del Sur (UNS); Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

## AUTORIDADES DE LA RED

**Presidente:** Jorge Pilar (Universidad Nacional del Nordeste)

**Vicepresidente:** Ana Mugetti (Instituto Argentino de Recursos Hídricos)

**Secretaría Ejecutiva de la Red:** María Valeria Mendoza (Instituto Nacional del Agua)

**Comité Directivo:** Agua y Saneamientos Argentinos; Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Departamento Provincial de Aguas de la Provincia de Río Negro; Instituto Argentino de Recursos Hídricos; Instituto Nacional del Agua; Universidad Nacional de Cuyo; Universidad Nacional de La Pampa; Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco; Universidad Nacional del Litoral; Universidad Nacional del Nordeste; Universidad Tecnológica Nacional.

## 3. OBJETIVOS DE LA RED

Las acciones que lleva adelante Arg Cap-Net son diseñadas conforme a los objetivos que fija su Plan Estratégico, a saber:

- Formar y capacitar recursos humanos en todos los ámbitos y niveles, en temas relacionados con GIRH.
- Concienciar y sensibilizar a la sociedad sobre la GIRH.
- Propiciar y facilitar el intercambio y difusión de conocimientos, habilidades y experiencias realizadas en GIRH.
- Propiciar la articulación con otras instituciones y redes, como así también la realización de alianzas estratégicas.
- Promover el estudio y la investigación y desarrollo (I+D) en GIRH.

#### **4. ACTIVIDADES DE LA RED**

Con el fin de cumplir con los objetivos mencionados las Instituciones miembros de ARG Cap Net desarrollan actividades dirigidas a los distintos niveles educativos, a organizaciones vinculadas con el agua y a la sociedad en general, con el apoyo económico de la Red y de otras fuentes de financiamiento externo, especialmente de la red global Cap-Net.

Actividades de fortalecimiento:

- Talleres de reflexión internos a la Red.
- Participación en reuniones anuales de redes regionales y nacionales de Cap-Net.
- Participación en los programas de entrenamiento de Cap-Net y de LA-WETnet.
- Elaboración de informes de evaluación y monitoreo de actividades de la Red.

Actividades de capacitación y difusión:

- Talleres de capacitación y cursos de posgrado interdisciplinarios y multisectoriales.
- Cursos de posgrado presenciales y online.
- Producción y difusión de materiales educativos y de difusión de ARG Cap Net.
- Participación en programas de LA-WETnet.
- Mesas redondas.
- Foros virtuales.
- Noticias.

ARG Cap-Net posee su página web [www.argcapnet.org.ar](http://www.argcapnet.org.ar), que contiene información institucional, noticias, foros y materiales relacionados con la GIRH y sobre la Maestría en GIRH, con información específica de dicha carrera de posgrado.

Se promueve la participación de sus miembros en reuniones de otras redes regionales y nacionales, así como en instancias de entrenamiento y capacitación de nivel nacional e internacional para el desarrollo de capacidades en GIRH, con vistas a su divulgación y réplica en los ámbitos locales.

Entre los grandes lineamientos temáticos abordados en esas actividades se destacan agua y género; agua y comunicación; cambio climático y recursos hídricos; economía para la GIRH; gestión de cuencas; gestión de inundaciones, y herramientas gerenciales para la GIRH.

#### **5. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL EN ARG Cap Net**

A partir del 18 de agosto del 2009, la Universidad Tecnológica Nacional es miembro de la Red y actualmente pertenece al Comité Ejecutivo.

Entre los aportes realizados por UTN a través de sus representantes se puede destacar:

- la participación en la organización del Taller sobre “Indicadores de Gestión de Cuencas”, realizado en la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria, Buenos Aires, 2010.
  - la propuesta presentada en forma conjunta con el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), para el desarrollo del Taller sobre Gestión Integral de la Cuenca del Río Colorado (República Argentina) y que fuera aprobada por ARG Cap Net para el corriente año.
- A la fecha, UTN se encuentra representada en la Red por las Ingenieras Aloma Sartor y Olga Cifuentes, ambas de la Facultad Regional Bahía Blanca.



## COMUNICACIÓN

### LABORATORIO DE QUÍMICA FACULTAD REGIONAL RAFAELA. ANÁLISIS DE AGUAS Y EFLUENTES.

**Panigatti, M. Cecilia; Boglione, Rosana; Griffa, Carina; Gentinetta, Fabiana;  
Boidi, Marco; Cassina, David; Schierano, Celeste.**

Facultad Regional Rafaela.  
Universidad Tecnológica Nacional.  
Bv Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina  
TE: (03492) 432702. FAX: (03492) 432710  
maria.panigatti@frra.utn.edu.ar, cecipanigatti@hotmail.com

**Palabras clave:** análisis fisicoquímico, análisis bacteriológico, aguas, efluentes

**Resumen.** *El Laboratorio de Química de la Facultad Regional Rafaela ofrece servicios de análisis de agua y efluentes líquidos, abarcando tanto el área fisicoquímica como bacteriológica. Dichos servicios son brindados a las industrias, municipios y comunas, productores agropecuarios y toda la comunidad. Además se realizan trabajos de asistencia técnica en el área medioambiental trabajando con distintas empresas de la ciudad y zona. Se efectúan monitoreos de agua subterránea, de agua de proceso y de efluentes. Se brindan respuestas a consultas realizadas por clientes, en cuestiones inherentes a la aptitud del agua para consumo humano o animal, como así también su uso para riego. Desde el año 2000 hasta la fecha se han desarrollado numerosos proyectos de investigación vinculados con la temática medioambiental. En alguno de ellos se trabajó conjuntamente con el INTA, mientras que en otros hubo una vinculación con Grupos de otras Facultades Regionales de la UTN. También se llevaron a cabo proyectos requeridos por industrias de la ciudad. Las actividades de investigación desarrolladas, permitieron durante estos últimos años, realizar presentaciones en diferentes congresos tanto a nivel nacional como internacional, como así también publicaciones en revistas de interés científico.*

## 1. ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN DEL LABORATORIO

### 1.1. Servicios de Análisis ofrecidos

El Laboratorio de Química de la Facultad Regional Rafaela ofrece servicios de análisis de agua y efluentes líquidos. Los análisis abarcan tanto el área fisicoquímica como microbiológica. Dichos servicios son brindados a las industrias, municipios y comunas, productores agropecuarios y toda la comunidad. También se efectúan análisis de residuos sólidos y ensayos de limpieza de autopartes (válvulas, bombas de agua y aceite, etc). De los

servicios ofrecidos muchos son desarrollados en el laboratorio y algunos son derivados a laboratorios externos.

### **1.2. Asesoramiento hacia el medio**

Se realizan trabajos de asistencia técnica en el área medioambiental trabajando con distintas empresas de la ciudad y zona. Se realizan monitoreos de agua subterránea, de agua de proceso y de efluentes.

Se brindan respuestas a consultas realizadas por clientes, en cuestiones inherentes a la aptitud del agua para consumo humano o animal, como así también su uso para riego.

También se realizan asesoramientos a municipios, tanto local como de la zona, acerca de la potabilidad del servicio de agua que brindan.

### **1.3. Transferencia de conocimientos hacia adentro y hacia fuera de la Universidad.**

Se transfieren conocimientos hacia adentro de la universidad a través de clases dictadas a los alumnos de las distintas carreras, respecto a las normas de seguridad a tener en cuenta durante la realización de los trabajos prácticos en el laboratorio de química.

Se elaboran los trabajos prácticos para el posterior desarrollo de los mismos en las asignaturas correspondientes aprovechando, tanto las instalaciones, como los equipos del laboratorio.

También se desarrollan clases relacionadas con temas ambientales en las asignaturas que lo soliciten y se transfieren conocimientos en escuelas secundarias y otras instituciones.

Se organizan Seminarios o Jornadas relacionados con la temática medioambiental dirigidas a todo tipo de público.

## **2. IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE CALIDAD**

Debido a los requerimientos de los clientes del Laboratorio se ha tenido que comenzar con la implementación de un sistema de calidad para la futura acreditación de técnicas de análisis. El trabajo se centra en la aplicación de la norma internacional vigente para la acreditación de laboratorios (ISO/IEC 17025), adecuando su organización y funcionamiento a las recomendaciones actuales.

## **3. INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Proyectos de investigación**

Desde el año 2000 hasta la fecha se han desarrollado numerosos proyectos de investigación vinculados con la temática medioambiental. En alguno de ellos se trabajó conjuntamente con el INTA-Rafaela, mientras que en otros hubo una vinculación con Grupos de otras Facultades Regionales de la UTN (Proyecto PROQCMA y PROIMCA). También se llevaron a cabo proyectos requeridos por industrias de la ciudad y empresas de la zona.

El Laboratorio de Química ha tenido numerosos becarios y pasantes, todos ellos alumnos de grado pertenecientes a la Regional, quienes han desarrollado tareas de servicios e investigación, lo que permitió una importante formación de recursos humanos.

Las actividades de investigación desarrolladas, permitieron durante estos últimos años, realizar presentaciones en diferentes congresos tanto a nivel nacional como internacional, como así también publicaciones en revistas de interés científico.

Los proyectos desarrollados en los últimos años 4 años son los siguientes:

- Proyecto de Investigación y Desarrollo aprobado y homologado por UTN: “Evaluación de la Contaminación Ambiental en la ciudad de Rafaela y zona”. (2007 - 2009).
- Proyecto de Investigación y Desarrollo aprobado y homologado por UTN: “Biorremediación de efluentes industriales conteniendo metales”. (2008- 2009).
- Proyecto financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Santa Fe. “Estudio de Biorremediación de efluentes industriales conteniendo metales a Escala Piloto”. (2009 – 2010). Proyecto realizado en forma conjunta con la empresa Consultora Siri Ingeniería.
- Proyecto de Investigación y Desarrollo: “Biorremoción de metales en efluentes industriales utilizando un reactor a escala piloto”. (2010 – 2011).
- Proyecto de Investigación y Desarrollo aprobado y homologado por UTN: “Sistemas de tratamiento alternativos para aguas subterráneas y efluentes domiciliarios, industriales y agropecuarios”. (2010 -2012).
- Proyecto de Investigación: “Valoración de Biosólidos de Tambo y Agroindustria”. Proyecto realizado con personal de INTA, Estación Experimental Rafaela e INTI Delegación Rafaela. Este proyecto se encuentra en el marco del proyecto UTI1128 (UTN) y es financiado por las tres instituciones y una Empresa Láctea (Saputo S.A.)

### **3.2. Grupo de Investigación**

Actualmente se ha realizado la presentación del pedido de reconocimiento y autorización institucional para la creación del Grupo de Investigación y desarrollo (GRUPO UTN): “Grupo de Estudios de Medio Ambiente (GEMA)”, según la Ordenanza 1292/10.

## **4. ESPACIO FÍSICO Y EQUIPAMIENTO**

En cuanto a espacio físico, el Laboratorio de Química posee 75 m<sup>2</sup>, el cual se encuentra dividido en Laboratorio de análisis y ensayos fisicoquímicos (50 m<sup>2</sup>) y Laboratorio de Microbiología (25 m<sup>2</sup>) (Figura 1). El Laboratorio cuenta además con dos entrespisos, en uno se realizan las tareas administrativas y en otro se encuentran ubicadas diferentes estufas (cultivo, esterilización, termorrefrigerador). Actualmente se está realizando una ampliación del laboratorio, la cual tendrá aproximadamente 45 m<sup>2</sup>.

Se cuenta con el siguiente instrumental: Balanza Analítica, Agitadores magnéticos con calefacción, Estufas (de cultivo, de secado, de esterilización), Baños María, Bomba de Vacío, Multiagitador Jar Test, Turbidímetro, Termo refrigerador, Termómetro digital, Espectrofotómetro UV-Visible, Conductímetro, pHmetro, Mufla, Medidor Multiparamétrico (pH, O.D., Conductividad, mV), Heladeras, Lavavajillas, Baño Termostatzado Multiuso, Autoclave, Lupa Estereoscópica, Microscopio electrónico, Centrífuga, Agitador Vortex, Electrodo selectivo para medición de flúor, Electrodo selectivo para medición de amonio.

## 5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

En la Tabla 1 y 2 se detallan los parámetros con sus correspondientes técnicas analíticas que se efectúan tanto en muestras de aguas como efluentes.

Parámetros	Técnica Analítica
Color	Método comparación visual
Turbiedad	Método nefelométrico
Olor	Prueba de umbral de olor
Ph	Electrométrico
Residuo seco	Evaporación y secado en estufa a 105 °C
Sólidos suspendidos	Filtración y evaporación
Sólidos sedimentables	Cono Imhoff
Dureza Total	Volumetría quelatométrica con E.D.T.A
Calcio	Volumetría quelatométrica con E.D.T.A
Magnesio	Método de cálculo a partir de D.T y Ca
Alcalinidad Total/Carbonato y Bicarbonato	Volumetría ácido-base
Cloruros	Titulación argentométrica
Sulfatos	Método turbidimétrico
Nitrato	Colorimetría
Nitrógeno Total	Método Kjeldhal
Nitrito	Colorimetría
Amonio	Colorimetría
Cloro residual	Colorimetría
Conductividad	Conductimétrico
Fluoruro	Electrodo Selectivo
Oxidabilidad	Oxidación con permanganato de potasio
DBO	Dilución e incubación a 20 °C, 5 días
DQO	Método reflujó con dicromato de potasio
Detergentes aniónicos	Colorimetría (Método del azul metileno)
Sust. Solubles en éter etílico	Extracción con éter etílico y evaporación
Fósforo	Colorimetría
Cianuro	Kit Merck
Sulfuros	Colorimetría y Titulométrico
Cromo (VI) y total	Colorimetría (difenilcarbazida)

Tabla 1: Parámetros Físicoquímicos en Agua y Efluentes

Las técnicas realizadas por Absorción Atómica (Aluminio, Cobre, Cadmio, Mercurio, Plomo, Arsénico, Estaño, Hierro, Níquel, Zinc, Manganeso, Bario, Sílice, Plata) y Fotometría de llama (Sodio y Potasio) no se realizan en el Laboratorio de Química, debido que no se cuenta con dicho equipamiento. Las mismas se determinan en laboratorios externos.

Parámetro	Técnica Analítica
Bacterias Aerobias Totales a 22 °C y 37 °C	Recuento en Placas (APC) de UFC/ml
Coliformes Totales	Fermentación en Tubos Múltiples (NMP)
Coliformes Fecales	Fermentación en Tubos Múltiples (NMP)

Pseudomonas aeruginosa	Enriquecimiento en caldo Mac Conkey y aislamiento en ceftrimida
Escherichia coli	Desarrollo en agar EMB e Identificación IMVIC
Streptococos y Enterococos	Fermentación en Tubos Múltiples 37 °C - 48 hs

Tabla 2: Parámetros Microbiológicos en Agua y Efluentes



Figura 1: Fotografías del Laboratorio de Química y de equipamiento de muestreo.



## COMUNICACIÓN

### LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA DE AGUAS Y EFLUENTES FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA U.T.N.

**Marín\*, Graciela N.; Moyano, Silvia A.; Pegoraro, Lidia E.; Pusetto; Evangelina; Brussa, Daniela B.; Debernardi, Adriana y Márquez, Florencia**

1: Laboratorio de Química y Microbiología.  
Facultad Regional Villa María.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Av. Universidad 450. (5900). Villa María, Córdoba, Argentina.  
[lab\\_quimica@frvm.utn.edu.ar](mailto:lab_quimica@frvm.utn.edu.ar)

#### 1. ACTIVIDAD PRINCIPAL DEL LABORATORIO

La principal actividad que desarrolla el Laboratorio se encuentra dirigida a la prestación de servicios a terceros, mediante la realización de análisis Físico Químico y Microbiológicos de aguas y efluentes. Los usuarios de nuestros servicios son las cooperativas de provisión de agua potable tanto de Villa María, como de su zona de influencia, empresas en general y particulares.

Conjuntamente con las tareas de servicios, se desarrollan actividades de investigación, publicaciones y presentaciones a congresos. Se han dirigido y desarrollado tesis de la Maestría en Tecnología de Alimentos y tesis en Licenciatura en Educación Superior. También se realiza la capacitación de alumnos estudiantes de la carrera de Ingeniería Química bajo la tutoría del personal estable, que se desempeñan como pasantes y luego de una formación exhaustiva, participan de la realización de los análisis de las distintas áreas.

#### 2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO

Existencia de equipamiento básico para el análisis de aguas y Efluentes:

Agitador Magnético, Agitador Mixer, Autoclave, Balanzas, Baño María, Cabezales para medición de DBO, Cabima de flujo Laminar para microbiología, Conductímetro, Espectrofotómetro UV-visible, Estufa de Esterilización, Estufa de Secado, Estufa para cultivo, Estufas para DBO, Freezer, Heladera, Microscopio, Mufla, Oxímetro, pHmetro, Turbidímetro

#### 3. METODOLOGÍA

Los análisis de agua se realizan siguiendo técnicas estándares internacionales, que cumplen también exigencias de la Unión Europea. Se utilizan los métodos del STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 18<sup>TH</sup> Y 21<sup>ST</sup> EDITION 1992 Y 2005 respectivamente, APHA, AWWA, WEF (SMWW) y Normas ISO exigidas por la Unión Europea.

#### **4. NORMA DE CALIDAD O CERTIFICACIÓN ADHERIDA**

- El Laboratorio De Química y Microbiología De Aguas y Efluentes de la Facultad Regional Villa María U.T.N. pertenece a la Red Oficial de Laboratorios de SENASA desde 1995 como Laboratorio Acreditado por el SENASA en el Rubro Aguas (LA0025). Funciona bajo el sistema de calidad fijado por la norma ISO 17025 y recibe auditorías periódicas y Controles de Calidad de los resultados mediante la implementación de interlaboratorios con el laboratorio central de SENASA.
- Se encuentra certificado por Norma ISO 9001 desde el año 2008.
- Está en vías de acreditación por el OAA.
- Realiza interlaboratorios con otros laboratorios Oficiales como el de Bromatología de la Municipalidad de Villa María, Ceprococor, UTN Cba. Etc.

#### **5. ALGUNOS EJEMPLOS DE TRABAJOS REALIZADOS EN TEMAS DE AGUAS Y EFLUENTES**

##### **PUBLICACIONES**

- Procedimiento De Análisis Y Control De Efluentes Industriales Y Domiciliarios - Revista Internacional INFORMACION TECNOLOGICA, Chile
- Calidad Del Agua De Pozos De Provisión De La Ciudad De Villa María- Córdoba- Aspectos Parciales. Publicado en los anales del Congreso Internacional de Aguas y Desarrollo Humano- XXXII IAH & VI ALHSUD.
- Estudio De La Contaminación De Las Aguas Del Río III, Durante El Verano De 1993. VII Congreso Argentino de Microbiología. BS. As.

##### **INTEGRANTE DE TRIBUNAL DE TESIS DE POSGRADO**

- Análisis De La Influencia De La Temperatura En El Tratamiento De Aguas Residuales Urbanas De La Ciudad De Villa Nueva. UTN- Facultad Regional Villa María (2004).
- Determinación De Un Indicador De Contaminación De Líquidos Cloacales En La Ciudad De Villa María. UTN- Facultad Regional Villa María (2005).

##### **DIRECCIÓN DE TESIS**

- Arsénico En Aguas Subterráneas Dedicadas Al Consumo Humano: Evolución De La Concentración Y Posible Incidencia Sobre La Salud. Profesora Adriana Ferreira; (2004).
- Requerimiento Biológico De Oxígeno E Efluentes De Industria Láctea. Comparación De Métodos De Evaluación Analítica. Obtención De Tablas De Estimación. Profesora María Fernanda Monjes 2008.

## TRABAJOS A CONGRESOS

- Contenido De Flúor En Aguas Para Consumo Humano De La Ciudad De Villa María - VIII Congreso Argentino De Ciencia Y Tecnología De Alimentos- 1999.
- Calidad Del Agua De Pozos De Provisión De La Ciudad De Villa María- Córdoba- Aspectos Parciales- Congreso Internacional de Aguas y Desarrollo Humano – XXXII IAH & VI ALHSUD (2002).
- Arsénico En Aguas Subterráneas Del Centro Del País: Evolución De La Concentración En 30 Años. Conagua 2005-XX Congreso Nacional del Agua-III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur- 2005.
- Cinética De La Biodegradación Aeróbica De Efluentes Industriales Lácteos. XXVI AQA - 2006
- Requerimiento Biológico De Oxígeno En Efluentes De Industria Láctea Local Y Obtención De Factores De Estimación Respecto Del Tiempo Y De La DQO Como Herramienta De Estimación Rápida En La Evaluación De Sus Efluentes. XXVII AQA - Asociación Química Argentina- 2008
- Biodegradación Y Caracterización De Microorganismos De Lodos Activados Provenientes De Efluentes De Industrias Lácteas- XXVII AQA - Asociación Qca. Argentina- 2008.
- Degradación De Un Efluente Lácteo Utilizando Un Microorganismo Del Género Bacillus Aislado De Un Lodo Activado. 1º Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables- UNVM (2009).
- Caracterización Microbiológica Y Físico Química Del Agua Del Sistema De Distribución Urbano En Villa María (Córdoba). III Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral de Agua, 2010.



# TERCERA PARTE

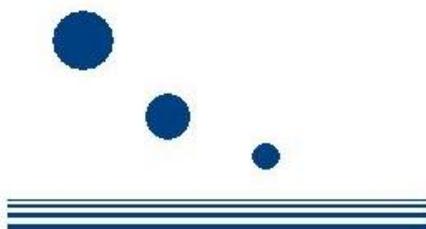
## RESÚMENES DE LOS CONGRESOS



Y

PROYECTO INTEGRADOR PARA LA DETERMINACION  
DE LA CALIDAD DEL AGUA

PRODECA



## COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIÓN NO IONIZANTES DE VARIAS PROVINCIAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Fernández, Juan<sup>1</sup>; Gimenez, Walter<sup>2</sup> y Manassero Ulises<sup>2</sup>

1: Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavaise 610, CP S3004EWB  
e-mail: [jpfernan@frsf.utn.edu.ar](mailto:jpfernan@frsf.utn.edu.ar)

2: Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavaise 610, CP S3004EWB  
e-mail: [wgimenez@frsf.utn.edu.ar](mailto:wgimenez@frsf.utn.edu.ar), [ulisesmanassero@hotmail.com](mailto:ulisesmanassero@hotmail.com)

**Resumen.** *Las radiaciones no ionizantes constituyen en el mundo moderno un medio físico indispensable para el desarrollo y la mejora en la calidad de vida de una sociedad. En particular, las ondas de radiofrecuencia (30 [kHz] y 1 [GHz]) y las microondas (1 a 300 [GHz]) tienen aplicación directa en las telecomunicaciones (ondas de TV, radio, comunicaciones satelitales, radares, telefonía móvil) y algunos electrodomésticos (hornos microondas), entre otros. Por otra parte, es sabido que aún se encuentra en etapa de estudio sus posibles prejuicios a la salud, ante su exposición permanente (poblacional). El Laboratorio Ambulante de Mediciones de Campos Electromagnéticos y Ruido Audible (LAMCEM), viene realizando mediciones en un gran número de provincias de la república Argentina desde hace más de ocho años, lo cual le confiere una amplia experiencia en el tema. Este trabajo muestra los resultados obtenidos en los planes de mediciones que se llevaron a cabo sobre una compañía de telefonía celular, en más de 30 localidades pertenecientes a ocho provincias. El propósito que se persigue en el desarrollo de este artículo consiste en realizar un análisis estadístico exhaustivo referente a la radiación máxima emitida por los irradiantes de cada uno de los sitios de comunicaciones, de modo de identificar aquellas localidades que poseen los mayores niveles de radiación. Luego, se pretende establecer una correlación entre los valores de densidad de potencia registrados en función a determinados índices y parámetros que representan el nivel de la calidad de vida, la demografía y el grado de desarrollo industrial de la región, entre otros. De modo de encontrar los argumentos que permitan explicar la cantidad de irradiantes por antena en función a la magnitud del tráfico de comunicaciones, los niveles máximos registrados, entre otros.*

**Palabras clave:** Radiaciones no ionizantes, Densidad de Potencia, Mediciones

## CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA: DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DE MAPAS DE DENSIDAD ELECTROMAGNÉTICA

**Baldini<sup>1\*</sup>, Patricia N.; Galasso<sup>2</sup>, Christian L.; Chaparro<sup>2</sup>, Marcos  
y Silva Bustos<sup>2</sup>, Matías**

1: Grupo de Estudio de Bioingeniería - Departamento de Electrónica  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de abril 461, Bahía Blanca. Buenos Aires  
e-mail: [pnbaldi@frbb.utn.edu.ar](mailto:pnbaldi@frbb.utn.edu.ar)

web: <http://www.frbb.utn.edu.ar/electronica/grupoinvestigacion/gebi.html>

2: Grupo de Estudio de Bioingeniería - Departamento de Electrónica  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de abril 461, Bahía Blanca. Buenos Aires

e-mail: [christian\\_galasso81@yahoo.com.ar](mailto:christian_galasso81@yahoo.com.ar); [nitrounsrq@gmail.com](mailto:nitrounsrq@gmail.com); [matiasasb@gmail.com](mailto:matiasasb@gmail.com)

**Resumen** *En este trabajo se presenta una herramienta computacional desarrollada en el ámbito del Grupo de Estudio de Bioingeniería de la FRBB, como parte de un proyecto para la determinación mediante simulación, de mapas sectorizados de densidad de potencia electromagnética de ciudades de la región. El objetivo final es determinar, en una primera instancia, si los niveles de radiación electromagnética a los que está sometida la población se encuentran dentro de los límites de seguridad recomendados por organismos internacionales. En particular, se centra la atención en la banda de las radiofrecuencias, propias de las comunicaciones inalámbricas. El programa fue desarrollado con intervención de alumnos de la carrera de ingeniería Electrónica. Implementa un algoritmo de cálculo en base a un modelo analítico simplificado de propagación en ambientes urbanos, obtenido a partir de la adecuación de modelos de planificación aceptados por la ITU. Considerando las antenas existentes en un sector geográfico de interés, se genera una base de datos con los parámetros relevados de cada una de ellas y sus respectivos diagramas de radiación y se evalúa la densidad de potencia media sobre un plano horizontal ubicado a una altura predeterminada sobre el nivel del suelo. El efecto de la edificación circundante se incorpora mediante parámetros características promedio, permitiendo lograr un equilibrio entre eficiencia y precisión. Los resultados son presentados en forma gráfica sobre fotografías satelitales georreferenciadas. Se emplea para la interfaz gráfica la biblioteca multiplataforma QT. Para la incorporación del sistema de información geográfica (GIS) se recurrió al programa de uso libre Quantum GIS (QGIS). Este trabajo da continuidad a una línea de investigación orientada al estudio de contaminación electromagnética, reubicación o rediseño de emisores para su mitigación, obtención de datos para el análisis de posibles efectos sobre la salud humana y revisión de normativas asociadas.*

**Palabras clave:** Mapa electromagnético, Densidad de Potencia, GIS, Radiofrecuencias, Contaminación Electromagnética.

## **LAS MEDICIONES DE RNI A GRAN ESCALA. DESARROLLO, RESULTADOS Y CONCLUSIONES OBTENIDAS EN UNA CAMPAÑA DE MEDICIONES EN LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES**

**Aguirre<sup>1\*</sup>, Aníbal R.; Dalmas di Giovanni<sup>1</sup>, Norberto y Rubial<sup>2</sup>, Lucila**

1: División Antenas y Propagación  
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa  
San Juan Bautista de La Salle 4397 Villa Martelli. Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [aaguirre@citedef.gov.ar](mailto:aaguirre@citedef.gov.ar), [ndigiovanni@citedef.gov.ar](mailto:ndigiovanni@citedef.gov.ar)

2: División Desarrollos Especiales  
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa  
San Juan Bautista de La Salle 4397 Villa Martelli. Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [lrubial@citedef.gov.ar](mailto:lrubial@citedef.gov.ar), web: [www.citedef.gob.ar](http://www.citedef.gob.ar)

**Resumen.** *Entre 2005 y 2006, en cumplimiento de la Res. 244/2001 del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, las empresas de telefonía celular realizaron las mediciones de RNI de aproximadamente 700 emplazamientos, volcando los valores obtenidos en un mapa accesible via Web al público en general, mostrando una “foto” del estado de los niveles de radiación. Pero al incluir puntos medidos en el entorno cercano al emplazamiento, que, en la mayoría de los casos no son lugares de acceso público, el estudio estadístico realizado en esa oportunidad arrojó valores de dispersión pronunciados y demostró inhomogeneidad en la densidad de mediciones respecto al n° de habitantes de cada barrio. Ante la necesidad de la autoridad de la actual Agencia de Protección Ambiental de renovar el relevamiento de emisiones, CITEDEF realizó un análisis estadístico de los valores obtenidos en la primera campaña. En base a ellos se realizó una propuesta de medición para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, realizada con un sistema de medición integrado a un vehículo, lo que permitió realizar un mapeo más racional y obtener así datos concretos del estado de contaminación por RNI que existe en la ciudad, a nivel peatonal, que es donde existe mayor cantidad de personas expuestas a una posible contaminación, además de haber podido incrementar las mediciones a más de 10 000. Se presenta en este trabajo los detalles de la campaña realizada y los elementos que dieron origen a esta novedosa propuesta, el análisis estadístico y los resultados obtenidos del nuevo procesamiento y las conclusiones de este nuevo tratamiento*

**Palabras clave:** Radiaciones no Ionizantes, RNI, Medición, Estadística

## DISEÑO DE UNA CÁMARA DE RADIACIÓN UV PARA ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL DE MATERIALES POLIMÉRICOS

**Manassero<sup>1</sup>, Ulises; Steinmann<sup>2</sup>, Irene y Elías<sup>2</sup>, Germán**

1: Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavaisse 610, CP S3004EWB  
e-mail: [ulisesmanassero@hotmail.com](mailto:ulisesmanassero@hotmail.com)

2: Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavaisse 610, CP S3004EWB  
e-mail: [isteinma@frsf.utn.edu.ar](mailto:isteinma@frsf.utn.edu.ar), [german\\_elias@hotmail.com](mailto:german_elias@hotmail.com)

**Resumen.** *Es de amplio conocimiento el efecto principal de la radiación UV sobre los seres humanos. Los polímeros también se ven afectados por la exposición a la luz del sol y la radiación UV. Todos los tipos de UV pueden tener un efecto fotoquímico dentro de la estructura de los polímeros, que puede ocasionar algún tipo de degradación en el material. Uno de los principales efectos es la pérdida de capacidad hidrofóbica. Este último, un aspecto muy importante en los materiales dieléctricos, tales como los aisladores poliméricos. En este contexto, un equipo de técnicos e ingenieros pertenecientes al Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia (GISEP) han diseñado y construido una cámara de radiación UV, cuyo fin es reproducir, de modo artificial, las radiaciones UV a que se encuentran sometidos habitualmente y en condiciones normales de trabajo, los aisladores poliméricos instalados a la intemperie en líneas de alta tensión. Esta cámara está compuesta por una estructura cilíndrica de madera, en cuyo interior se disponen 8 tubos fluorescentes de radiación UV que irradian principalmente radiación UVA, con una potencia lumínica de 25 [W] de radiación UVA a las 100 horas de funcionamiento. Entonces, las características específicas de diseño de la cámara le confieren la posibilidad de acelerar el envejecimiento superficial de materiales plásticos. Para el caso particular de la ciudad de Santa Fe, en función a un plan de monitoreo anual de la radiación UVA natural irradiada, esta cámara desarrolla un nivel de radiación de un 75% superior, lo cual permite acelerar el envejecimiento de los polímeros por exposición a radiación UV. Este tipo de ensayos permite interpretar, con análisis y ensayos dieléctricos, físico-químicos y mecánicos posteriores el grado de severidad de la radiación UV en diversos materiales plásticos.*

**Palabras clave:** Radiación, Ultravioleta, Cámara, Polímeros

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO ÓPTICO PARA CALIBRACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE INSTRUMENTOS RADIOMÉTRICOS.

Wolfram, E.<sup>1</sup>; Dworniczak, J. C.<sup>1</sup>; Repetto, C. I.<sup>4</sup>; Orte, P.F.<sup>2</sup>; Raponi, M.<sup>1</sup>; Salvador, J.<sup>1,3</sup>; D'Elia, R.<sup>1</sup>; Vásquez, P. M.<sup>4</sup> y Quel, E. J.<sup>1</sup>.

1: CEILAP (CITEDEF-CONICET) Villa Martelli,  
Buenos Aires, Argentina.

2: Becario ANPCyT.

3: Universidad Nacional de la Patagonia Austral,  
Unidad Académica Río Gallegos,  
Santa Cruz, Argentina.

4: Universidad Tecnológica Nacional.  
[ewolfram@gmail.com](mailto:ewolfram@gmail.com)

**Resumen.** *El objetivo principal de este proyecto es el diseño y construcción de un banco óptico para calibración de dispositivos sensibles a la radiación electromagnética solar, particularmente radiómetros que miden en la región visible (VIS) y ultravioleta (UV) del espectro, como así también la elaboración de un protocolo de calibración, caracterización y testeado de estabilidad y degradación para este tipo de instrumentos. La radiación solar deteriora los sensores, afectando principalmente a aquellos que trabajan en el rango espectral UV (100nm a 400nm), disminuyendo significativamente su confiabilidad y exactitud. Por esta razón, para mantener en correcto funcionamiento una red de estudio y monitoreo sistemático de la radiación es forzoso calibrar y chequear de manera periódica la estabilidad del instrumental que la integra. Para cumplir esta necesidad se construirá un banco óptico para calibración y caracterización de radiómetros solares empleando lámparas patrones certificadas como principal componente y un conjunto de instrumentos y dispositivos existentes en los laboratorios de la División Lidar, perteneciente al Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP (CITEDEF-CONICET). Hasta el día de hoy, dichos instrumentos no han podido instalarse e integrarse como parte de una misma plataforma experimental. Este trabajo permitirá dar el primer paso hacia el desarrollo de un procedimiento - basado en patrones estandarizados - de calibración y caracterización de instrumentos de sensado de radiación solar, que facilitará el mantenimiento de redes de monitoreo locales. Así mismo, a través de este procedimiento, se podrá implementar de manera apropiada, la calibración de los sensores de irradiancia eritémica (sensibilidad similar a la piel humana) empleados por los solmáforos diseñados y construidos en el marco de proyectos de investigación de la Universidad Tecnológica Nacional.*

**Palabras clave:** calibración, radiómetro, UV.

## INSTALACIÓN DE UN RADIÓMETRO DE ONDAS MILIMÉTRICAS PARA MEDIR PERFILES DE OZONO EN RÍO GALLEGOS, ARGENTINA

Orte<sup>1</sup>, P. F.; Salvador<sup>2,3</sup>, J.; Wolfram<sup>2</sup>, E.; D'Elia<sup>2</sup>, R.; Nagahama<sup>4</sup>, T.; Kojima<sup>4</sup>, Y.;  
Tanada<sup>4</sup>, R.; Kuwahara<sup>4</sup>, T.; Morihira<sup>5</sup>, A.; Quel<sup>2</sup>, E. y Mizuno<sup>4</sup>, A.

1: Becario ANPCyT.

2: CEILAP (CITEDEF-CONICET)

Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

3: Universidad Nacional de la Patagonia Austral,  
Unidad Académica Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina.

4: Solar-Terrestrial Environment Laboratory,  
Nagoya University, Nagoya, Japan.

5: ULVAC Inc., Chigasaki, Japan.

e-mail: [porte@citedef.gob.ar](mailto:porte@citedef.gob.ar)

**Resumen.** *Con el objetivo de contribuir con los estudios de la capa de ozono atmosférica, un nuevo radiómetro de ondas milimétricas para monitoreo de ozono ha sido instalado en el observatorio Atmosférico de la Patagonia austral, división LIDAR, CEILAP (CITEDEF-CONICET) en octubre de 2010. Este observatorio fue establecido en la ciudad de Río Gallegos (51° 36' S, 69° 19' O), Argentina, cercano al agujero de ozono que se forma sobre la región antártica durante la primavera desde el la década del 80. El radiómetro de ondas milimétricas fue desarrollado en Solar Terrestrial Environment Laboratory (STEL) de la Universidad de Nagoya, Japón. Este instrumento de sensado remoto pasivo es capaz de medir el contenido de ozono en la alta estratosfera y mesosfera, el cual opera continua y automáticamente con una resolución temporal alta. Los perfiles de ozono obtenidos por este radiómetro serán complementadas con los perfiles de ozono derivados desde el sistema DIAL (differential absorption LIDAR) existente en este observatorio. El radiómetro de ondas milimétricas es basado en la detección de la señal espectral desde la atmósfera debido a las transiciones rotacionales de la molécula en estudio. Para tal fin un sistema superheterodino utiliza un receptor mezclador superconductor-aislador-superconductor (SIS) operando a 203.6 GHz. El mezclador SIS es enfriado a 4,2K con un refrigerador cíclico de helio. Dos etapas de mezclado heterodino adicionales se realizan con el fin de cambiar la línea espectral medida a una frecuencia de 500 MHz aproximadamente. Luego un espectrómetro FFT (Fast Fourier Transform) es utilizado para su posterior procesamiento en una PC. El objetivo de este trabajo es presentar el nuevo instrumento instalado en estas latitudes subpolares, sus principales características y sus potencialidades. Además se presentan los resultados preliminares de perfiles de ozono obtenidos.*

**Palabras claves:** radiómetro de ondas milimétricas, receptor superheterodino, perfil de ozono.

## EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL USO DE LA ENERGÍA PARA EL COMBATE DE HELADAS EN LA ZONA ESTE DE MENDOZA

Álvarez<sup>1</sup>, Luis R.; Silva Colomer<sup>2</sup>, Jorge; López<sup>1</sup>, Graciela R.; Fernández<sup>1</sup>, Jorge F.; Gómez Girini<sup>1</sup>, Roberto y Polizzi<sup>1</sup>, Miguel A.

1: Instituto Regional de Estudios Sobre Energía (IRESE)  
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional  
Cnel. Rodríguez 273 (5500)  
e-mail: [alvarez.irese@frm.utn.edu.ar](mailto:alvarez.irese@frm.utn.edu.ar)

2: Estación Experimental Agropecuaria Junín  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)  
Busquet s/n Junín Mendoza  
e-mail: [jsilvacolomer@correo.inta.gov.ar](mailto:jsilvacolomer@correo.inta.gov.ar)

**Resumen.** *Se estudiarán los sistemas de defensa contra heladas para cultivos en la zona Este de Mendoza, de tal forma definir un sistema activo que utilizando energía eléctrica resulte energéticamente eficiente, ambientalmente sustentable y económicamente sostenible, sin alterar la calidad y cantidad de la producción agrícola. Esta perspectiva, analizará la situación actual de la Zona Este, evaluará el daño ambiental de los métodos actuales y estudiará las redes de distribución eléctrica existentes en las zonas rurales, en especial las destinadas a riego agrícola, con énfasis en los subsidios económicos de la tarifa eléctrica destinados a la producción, con el objeto de evaluar su factibilidad para el combate contra las heladas. Se desarrollarán balances energéticos de los nuevos sistemas de transferencia de calor, de tal forma que atenuando los efectos de esta contingencia climática se cumpla con la premisa de un uso eficiente de la energía. La metodología de trabajos se dividirá en tareas de gabinete y en la toma de mediciones en el campo de los parámetros térmicos, eléctricos, ambientales y agronómicos para determinar la eficiencia energética de cada sistema, manteniendo las premisas de calidad y producción. Un informe final justificará o no las hipótesis planteadas con el fin de realizar un aporte a la economía agrícola de la Provincia. Se seleccionarán fincas en las cuales el manejo del monte frutal sea semejante, al igual que las condiciones edáficas y de riego con aquellas en las cuales se realiza lucha activa con combustibles fósiles. Se aplicarán métodos de control pasivo, trabajo en gabinete, comparando sus resultados con los activos, trabajos en el campo. Los resultados se medirán en la mortandad de los órganos del cultivo según su estado fenológico al momento del evento y en la producción luego de cosecha.*

**Palabras clave:** Eficiencia Energética; Combate Heladas; Zona Este; Mendoza

## INFLUENCIA DE LA DINÁMICA POBLACIONAL SOBRE LAS EMISIONES ANTRÓPICAS DE CARBONO

**Pulíafito<sup>1\*</sup>, Salvador E. y Castesana<sup>2</sup>, Paula**

1: Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente. (GEAA)  
Facultad Regional Mendoza- Facultad Regional Buenos Aires  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273. C.P. 5500 – Mendoza. Tel. 0261-5243003  
e-mail: [epuliafito@frm.utn.edu.ar](mailto:epuliafito@frm.utn.edu.ar) – <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

2: Facultad Regional Buenos Aires  
Universidad Tecnológica Nacional  
Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica  
Medrano 951, Ciudad de Buenos Aires. Tel.: 011 4867 7629  
[pcastesana@gmail.com](mailto:pcastesana@gmail.com)

**Resumen:** *Un tema relevante en la investigación sobre cambio climático es el efecto que producen las transiciones demográficas sobre el crecimiento económico y sobre el balance de carbono del planeta, dado que el impacto de dichas transiciones influye directamente sobre el consumo de bienes y energía primaria, y por consiguiente, sobre las emisiones de carbono, modificando la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este estudio integra variables de crecimiento como las tasas de natalidad y mortalidad, en un modelo capaz de describir los cambios y estudiar la influencia de dichas variables sobre las emisiones antrópicas. El mismo muestra que a largo plazo, el estancamiento de la población producirá una reducción del crecimiento de los ingresos, lo cual contribuirá a estabilizar o reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono. Sin embargo, por efecto de acumulación en la atmósfera, no se espera una estabilización de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en los próximos 100 años.*

**Palabras clave:** Crecimiento económico, dinámica poblacional, emisiones antrópicas, transición demográfica.

## FORZANTES EXTERNOS AL PLANETA Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA: PID-UTN

Cionco<sup>1</sup>, Rodolfo G. ; Compagnucci<sup>2</sup>, Rosa H.; Rodriguez<sup>1</sup>, Ruben L.;  
Velasco-Herrera<sup>3</sup>, Víctor; Silvestri<sup>4</sup>, Gabriel y Agosta<sup>5</sup>, Eduardo

1: Grupo de Estudios Ambientales  
Facultad Regional San Nicolás  
Universidad Tecnológica Nacional  
Colón 332, San Nicolás (2900)  
e-mail: [gcionco@frsn.utn.edu.ar](mailto:gcionco@frsn.utn.edu.ar), [rrodriguez@frsn.utn.edu.ar](mailto:rrodriguez@frsn.utn.edu.ar)

2: Dto. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos  
Facultad de Cs. Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires  
Ciudad Universitaria, Pabellón II; CABA (1428)  
e-mail: [rhc@fcen.uba.ar](mailto:rhc@fcen.uba.ar)

3: Instituto de Geofísica  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria Del. Coyoacán; México D.F. (C.P. 04510)  
e-mail: [vmv@geofisica.unam.mx](mailto:vmv@geofisica.unam.mx)

4: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera  
Universidad de Buenos Aires  
Ciudad Universitaria, Pabellón II; CABA (C1428EGA)  
e-mail: [gabriels@cima.fcen.uba.ar](mailto:gabriels@cima.fcen.uba.ar)

5: Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global  
Pontificia Universidad Católica Argentina  
Av. A. M. de Justo 1600; CABA (C1107AAZ)  
e-mail: [eagosta@uca.edu.ar](mailto:eagosta@uca.edu.ar)

**Resumen.** *En esta comunicación se exponen los lineamientos, grado de avance y algunos resultados del proyecto homónimo recientemente aprobado en UTN. Se propone una clasificación de los forzantes astronómicos del clima terrestre con la finalidad de desarrollar modelos y bases de datos para su estudio. Se espera disponer de sólidas herramientas teóricas para aplicaciones concretas en variabilidad climática del pasado, el presente y el futuro.*

**Palabras clave:** Medioambiente, Modelos, Forzantes del clima, Variabilidad climática

## MODELACIÓN REGIONAL DE INYECCIÓN DE AEROSOLES DE SULFATO PARA REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA GLOBAL EN FORMA ARTIFICIAL. CASO: REGIÓN DE CUYO.

Mulena<sup>1</sup>, Gabriela C.; Puliafito<sup>1</sup>, Salvador E. y Lakkis<sup>2</sup>, Gabriela S.

1: Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente

Facultad Regional Mendoza

Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

Rodríguez 273. C.P. 5500. Mendoza

e-mail: [celeste.mulena@gmail.com](mailto:celeste.mulena@gmail.com), [epuliafito@frm.utn.edu.ar](mailto:epuliafito@frm.utn.edu.ar), web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

2: Programa para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Tecnológica Nacional

Mendoza (5500)

e-mail: [gabylakkis@uca.edu.ar](mailto:gabylakkis@uca.edu.ar); web:

<http://www.uca.edu.ar/index.php/site/index/es/universidad/investigacion/ucacyt/pepacg/>

**Resumen.** *La presente investigación está basada en el método de inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera baja, el cual es derivado de la geoingeniería climática. La técnica se fundamenta en los efectos provocados por las erupciones volcánicas y su objetivo es incrementar los niveles naturales de aerosoles de sulfato de manera artificial, causando un aumento en el albedo planetario y reduciendo la entrada de la radiación solar y, así mismo, lograr la disminución de la temperatura media global. La mayor parte de la discusión se ha focalizado en el uso de dióxido de azufre; sin embargo, otros precursores sulfatados, también podrían ser utilizados. El estado del arte, demuestra que hasta el momento los científicos se han abocado a la realización de estudios con modelos de circulación general, sin embargo, se cree importante iniciar los primeros intentos para poner a prueba esta propuesta particular de geoingeniería bajo una visión local. En razón de ello, se ha desarrollado un modelo regional de inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera baja para reducción de la temperatura media global, para luego elegir escenarios (regionales) ambientalmente sostenibles para dicha siembra y con ellos estudiar los balances de los impactos positivos y negativos, como así también, la sensibilidad del área en perspectiva. La zona en estudio elegida es la Región de Cuyo debido a que ella presenta antecedentes de alta vulnerabilidad en sus ecosistemas y, además, en los últimos años, en el territorio se ha detectado un marcado aumento en los registros de las temperaturas tanto en el piedemonte como en la zona de montaña, lo que hace que la región pueda ser susceptible al empleo de sulfatos estratosféricos. En tanto, se ha seleccionado el modelo regional, WRF para el estudio.*

**Palabras clave:** Geoingeniería Climática, Modificación Artificial del Clima, Inyección de Aerosoles, Volcanes, Modelación Regional, WRF.

## PROYECTO DE RE-INGENIERÍA PARA LA ESTIMULACIÓN CLIMÁTICA DEL INCREMENTO DE PRECIPITACIONES POR TÉCNICAS ARTIFICIALES (PRECIPTA) PRODECA 2011

**Pérez, Raúl C**

Laboratorio de Investigaciones Hidrodinámicas, Atmosféricas y Nubes para Desarrollos Operativos.  
(LIHANDO). Centro de Estudios de Desarrollos Sustentables (CEDS).  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273, Mendoza  
e-mail: [rcperez@frm.utn.edu.ar](mailto:rcperez@frm.utn.edu.ar) : [rcperez@gmail.com](mailto:rcperez@gmail.com)

**Resumen.** *Uno de los impactos más preocupantes del cambio climático es la modificación de los regímenes de precipitación en las diferentes regiones del mundo, conllevando como consecuencia variaciones en la cantidad de agua proveniente de ellas, ya sea en defecto o en exceso. El presente proyecto ha emprendido una serie de actividades en orden a realizar investigación científica aplicada para el desarrollo de metodologías y tecnologías en la modificación artificial benéfica de los fenómenos meteorológicos y climáticos. Los objetivos son desarrollar nuevos conocimientos que permitan implementar programas que permitan intervenir y modificar los procesos atmosféricos que producen impactos dañinos severos sobre las diferentes actividades humanas, buscando su mitigación o transformación en benéficos. Actualmente el proyecto PRECIPITA se encuentra en ejecución, siendo su objetivo el de poder incrementar lluvias en zonas desérticas o aquellas regiones que sufran contingencias eventuales de sequías. Dadas las características de la zona experimental, se ha elegido como metodología de trabajo la siembra de nubes con CCN mediante la utilización de aviones. El beneficiario del mencionado proyecto es la municipalidad de Libertador General San Martín (Mendoza). Actualmente, el proyecto se encuentra en la ejecución de la primera de sus cuatro etapas: la caracterización de los procesos atmosféricos de precipitación de la región, como así también de los factores y variables que los determinan.*

**Palabras clave:** Modificación, Artificial, Clima, Precipitaciones.

## MONITOREO DEL RUIDO AUDIBLE EN LA CIUDAD DE SANTA FE

**Zóttico, Andrés; Acosta, Dana y Manassero, Ulises**

Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavaisse 610, CP S3004EWB

e-mail: [andres\\_pgz@hotmail.com](mailto:andres_pgz@hotmail.com), [dacosta81@gmail.com](mailto:dacosta81@gmail.com), [ulisesmanassero@hotmail.com](mailto:ulisesmanassero@hotmail.com)

**Resumen.** *Desde siempre, el ruido ha sido un problema ambiental. La presencia de ruidos no deseados en un ambiente laboral o doméstico, provoca trastornos a las personas expuestas durante ciertos periodos y a determinados niveles del ruido al que se ven sometidas. La sociedad moderna ha incorporado una multiplicidad de fuentes generadoras de este contaminante. En las grandes urbes, se observa que todos los ciudadanos se encuentran expuestos diariamente a altos niveles de contaminación acústica, producidos en su mayor medida por los medios de transporte. Pero también la actividad comercial e industrial. Este trabajo tiene por objetivo identificar las zonas de contaminación acústica más comprometidas de la ciudad de Santa Fe, para luego establecer una clasificación de los diferentes sitios en función a los niveles de contaminación sonora. Para ello, se realizó un plan de mediciones con el objeto de registrar los niveles de ruido (nivel sonoro continuo equivalente según curva de ponderación tipo A), en zonas de la ciudad con diferentes tipos de actividades (residenciales, industriales –principalmente metalúrgicas-, comerciales y de entretenimiento nocturno). El propósito de estas mediciones es arribar a conclusiones que permitan conocer el grado de contaminación acústica de zonas puntuales de la ciudad, evaluar los valores obtenidos con los máximos permisibles por las normativas vigentes en el tema y por último realizar un análisis comparativo de carácter cuantitativo con los niveles de ruido registrados en las diferentes zonas, de modo de conocer qué tipo de zona es la más conflictiva de la ciudad y por ende, que aporta mayor contaminación acústica. Luego también se determinó el peso relativo de la zona de mayor contaminación en relación a las demás, de modo de inferir acerca de la existencia o no, de instalaciones con aislaciones y/o atenuaciones acústicas, como bien podrían disponer cierto tipo de industrias y locales comerciales.*

**Palabras clave:** Contaminación acústica, Ruido, ciudad

## UN MODELO DE DIFUSIÓN ANISÓTROPA DE TRÁFICO URBANO: IMPACTO ACÚSTICO

Cortínez<sup>1\*</sup>, Víctor H. y Domínguez<sup>2</sup>, Patricia N.

1: Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de Abril 461, 8000 Bahía Blanca  
e-mail: [vcortine@frbb.utn.edu.ar](mailto:vcortine@frbb.utn.edu.ar)

2: Departamento de Ingeniería  
Universidad Nacional del Sur  
Av. Alem 1253, 8000 Bahía Blanca  
e-mail: [pdoming@uns.edu.ar](mailto:pdoming@uns.edu.ar)

**Resumen.** *La distribución de viajes en una red de transporte urbano viene gobernada por el primer principio de Wardrop y se conoce como “equilibrio de usuario”. La formulación matemática de dicho principio lleva a un problema de optimización cuyas variables corresponden a los flujos de tráfico circulando por las diferentes arterias de una ciudad. Se trata de un problema computacional muy costoso atendiendo a la enorme cantidad de incógnitas. En este trabajo se propone un modelo alternativo que conduce a ecuaciones de difusión anisótropa no lineal que pueden ser adecuadamente resueltas mediante el método de elementos finitos. A partir de tal modelo se obtienen los flujos automotores en cada arteria de la ciudad. Luego es posible determinar el impacto acústico generado por el tráfico, haciendo uso de convenientes fórmulas predictivas de ruido urbano.*

**Palabras clave:** Difusión no lineal, Asignación de Tráfico, Ruido Urbano

## CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN SONORA EN EL INTERIOR DE UN ESTABLECIMIENTO EDUCATIVO DEL MICROCENTRO DE LA CIUDAD DE MENDOZA

Boschi, César E<sup>1\*</sup>; Robles, María del C.<sup>2</sup>; Bologna, Rosa<sup>2</sup>; Antivilo, María C.<sup>2</sup> y Ormeño, Lorena<sup>2</sup>

1: Laboratorio de Acústica y Sonido “Mario G. Camín”  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Dirección postal  
e-mail: [cboschi@frm.utn.edu.ar](mailto:cboschi@frm.utn.edu.ar)

2: Licenciatura en Educación Ambiental  
Facultad de Educación Elemental y Especial  
Universidad Nacional de Cuyo  
Dirección postal  
e-mail: [maritarobles@yahoo.com.ar](mailto:maritarobles@yahoo.com.ar)

**Resumen.** *El presente trabajo describe la investigación realizada con el objeto de caracterizar la contaminación sonora que se produce en un establecimiento educativo situado en el microcentro de la Ciudad de Mendoza. En un estudio previo realizado sobre la contaminación sonora en la ciudad de Mendoza por el Laboratorio de Acústica de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Mendoza, se puso de manifiesto la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica debido al flujo vehicular, en un área representativa del microcentro de la ciudad. Los datos ponen en evidencia la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica que afecta el entorno del centro educativo donde se desarrolló la investigación. Diversos estudios han señalado en forma inequívoca que el ruido aún si es de baja intensidad, afecta negativamente al ser humano en su actividad física e intelectual, así como en el esparcimiento y el descanso. La metodología de la investigación fue cuantitativa y consistió en registrar los niveles sonoros en un grupo seleccionado de aulas del establecimiento en un período completo de la jornada escolar desde las 08:00 hs. hasta las 23:30 hs. y en distintas situaciones áulicas. Las mencionadas aulas se eligieron en función de su ubicación y distribución en el edificio respecto de la calle con mayor circulación de tránsito. En cuanto a los horarios se establecieron de modo de poder caracterizar la influencia del tránsito vehicular, el cual se incrementa en los horarios de entrada y salida de las actividades laborales y comerciales en el microcentro y disminuye en los horarios intermedios. Además se tuvieron en cuenta los horarios establecidos por la Norma IRAM 4062. Una vez registrados los niveles sonoros, para los períodos de referencia e instancias áulicas previamente establecidos, se sistematizaron los datos recabados. Finalmente se realizaron gráficos comparativos y se emitieron conclusiones.*

**Palabras clave:** Sonido, Ruido, Contaminación Sonora, Educación, Microcentro

## DESARROLLO Y CALIBRACIÓN DE UN MODELO ACÚSTICO PARA UNA ZONA RESIDENCIAL-INDUSTRIAL

Cortínez<sup>1</sup>, Víctor H.; Sequeira<sup>1</sup>, Martín E.; Azzurro<sup>1</sup>, Adrián P. y Pons<sup>2</sup>, Facundo

1: Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Bahía Blanca  
11 de Abril 461, B8000LMI, Bahía Blanca, Bs. As., Argentina.  
e-mail: [vcortine@frbb.utn.edu.ar](mailto:vcortine@frbb.utn.edu.ar), [martins@frbb.utn.edu.ar](mailto:martins@frbb.utn.edu.ar), [azzurro@frbb.utn.edu.ar](mailto:azzurro@frbb.utn.edu.ar)

2: Comité Técnico Ejecutivo  
Municipalidad de Bahía Blanca  
San Martín 3474, B8000LMI, Bahía Blanca, Bs. As., Argentina.  
e-mail: [cte.inspec6@bb.mun.gba.gov.ar](mailto:cte.inspec6@bb.mun.gba.gov.ar)

**Resumen.** *En este trabajo se presenta la caracterización sonora de una zona residencial mixta, originada a partir de fuentes industriales fijas instaladas en el Polo Petroquímico de la Ciudad de Bahía Blanca. Los niveles de las fuentes involucradas son estimados a partir de mediciones “in situ” de niveles de presión sonora y la posterior aplicación de un método de cálculo similar al desarrollado en la norma ISO 8297. Posteriormente, se desarrolla un modelo de propagación de ruido exterior y se calibra a partir de distintas mediciones realizadas en las inmediaciones del sector urbanizado. El objetivo de este trabajo es presentar una herramienta práctica de predicción del impacto acústico sobre la zona residencial, que se pueda utilizar para estudiar la posible implementación de diferentes tratamientos acústicos a fin de lograr un ambiente acústico acorde a la legislación local.*

**Palabras clave:** Ruido industrial, propagación sonora, impacto acústico.

## CONTAMINACION SONORA EN DISTINTOS AMBITOS

**Serra, M.; Verzini, A.; Pérez Villalobo, J.; Henin, C. y Petiti, Y.**

Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA). Facultad Regional Córdoba.  
Universidad Tecnológica Nacional.  
M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Cordoba (X5016ZAA), Argentina.  
e-mail: [mserra@scdt.frc.utn.edu.ar](mailto:mserra@scdt.frc.utn.edu.ar)  
<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra>

**Resumen.** *El trabajo que aquí se presenta constituye una recopilación de relevamientos realizados por el CINTRA en distintos ámbitos a través de la construcción de mapas de ruido y/o la realización de estudios psicosociales. Tiene por finalidad mostrar la distribución de niveles sonoros y al mismo tiempo evaluar la molestia causada por diversas fuentes de ruido y sus efectos nocivos sobre la población en general, con miras a alcanzar los objetivos de calidad acústica recogidos por la nueva propuesta de ley recientemente aprobada en la Cámara de Diputados de la Nación. Para la realización de los mapas de ruido se empleó un software de predicción, el cual utiliza una combinación de modelos teóricos que incluyen las características topográficas y acústicas de las superficies que forman los obstáculos, junto con los modelos de las fuentes generadoras de ruido. Los ámbitos estudiados fueron: a) predio de la ciudad universitaria, donde se emplaza la Facultad Regional Córdoba de la UTN, con la elaboración de un mapa de ruido; b) microcentro de la ciudad de Córdoba altamente expuesto al ruido de tránsito como principal fuente generadora de ruido, donde se llevó a cabo la construcción de mapas de ruido conjuntamente con la realización de un estudio psicosocial; c) Base Marambio – de la Fuerza Aérea Argentina– en la Antártida Argentina, con la construcción también de un mapa de ruido; d) vecindad de discotecas con la aplicación de un cuestionario auto-administrable. A través de la información recogida por los distintos relevamientos realizados se intenta tipificar la calidad acústica de los ambientes estudiados.*

**Palabras clave:** Contaminación sonora, mapas de ruido, estudios psicosociales.

## LA TÉCNICA DE INTENSIMETRÍA SONORA Y SU POSIBLE APLICACIÓN AL CÁLCULO DE LA INMISIÓN SONORA

**Pérez Villalobo, J.; Serra, M. y Ramos, O.**

Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA). Facultad Regional Córdoba.  
Universidad Tecnológica Nacional.

M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Cordoba (X5016ZAA), Argentina.

e-mail: [jperez@electronica.frc.utn.edu.ar](mailto:jperez@electronica.frc.utn.edu.ar)

<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra>

**Resumen.** *En este estudio se avanza en la posibilidad de utilizar la técnica de intensimetría sonora para calcular niveles de inmisión sonora mediante el cálculo de la potencia acústica en ambientes cerrados de esparcimiento con características acústicas propias. Se continúa la realización de mediciones in situ en este tipo de ambientes. Finalmente, los valores de la potencia acústica calculada se contrastan con los valores de mediciones de presión sonora – método tradicional de inmisión– y se presenta el comportamiento de ambas técnicas. Hasta el momento los resultados son prometedores, existiendo la posibilidad de que la técnica de intensimetría sea un método alternativo para determinar la inmisión sonora en este tipo de ambiente. El estudio se enmarca dentro del Proyecto "Intensimetría sonora: una nueva técnica de medición del ruido aplicada en áreas no convencionales", acreditado por la Universidad Tecnológica Nacional.*

**Palabras clave:** Intensimetría sonora, inmisión sonora, potencia acústica.

## CALIDAD DE AIRE EN EL CENTRO DE SANTA FE Y LA INFLUENCIA DEL ARBOLADO URBANO EN LA CAPTACIÓN DE CONTAMINANTES

**Russillo\*, Sebastián, Ghirardi, Romina; Enrique, Claudio; Pacheco, Gustavo y Caminos, Jorge**

Grupo de Estudios Sobre Energía  
Facultad Regional Santa Fe  
Universidad Tecnológica Nacional  
Lavalse 610 (3000) Santa Fe, Argentina  
e-mail: [gese@frsf.utn.edu.ar](mailto:gese@frsf.utn.edu.ar)

**Resumen.** *La calidad del aire en las ciudades está influenciada por numerosos factores. Los árboles de espacios públicos reducen la concentración de contaminantes al secuestrar carbono y proporcionar sombra en el verano y protección en el invierno -lo que disminuye el consumo de aire acondicionado y calefacción-. Además interceptan partículas y absorben dióxidos de azufre y nitrógeno. Debido a esto, se evaluaron las diferencias entre la calidad del aire en las zonas del centro de Santa Fe que se encuentran abundantemente vegetadas versus aquellas con escasa vegetación. Para ello se seleccionaron 4 esquinas con diferente vegetación y se midieron los contaminantes durante 24hs empleando un equipo portátil que mide simultáneamente concentraciones de gases (sensores electroquímicos) y material particulado (Light Scattering.) protegido por un gabinete metálico y con ventilación forzada, construido para tal fin. Se posiciona el equipo a una altura del piso aproximada de 20mts, se lo enciende y deja estabilizar 3 minutos. Simultáneamente a la medición de gases y partículas, se registra presión atmosférica, temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento mediante una estación meteorológica de la FRSF. Luego de realizadas las mediciones, los datos registrados son corregidos a una temperatura de 25 °C y una presión atmosférica de  $1,013 \times 10^5$  Pascales. En general existen diferencias entre la concentración de contaminantes ( $p < 0,0001$ ). Cabe destacar la  $[PM_{10}]$ , pues los dos sitios vegetados presentan niveles significativamente más bajos de  $PM_{10}$  que los que poseen escasa vegetación. En los casos en los que la relación fue inversa, como en  $[CO]$  e  $[HC]$ , puede deberse a la diferencia en flujo vehicular y en las especies vegetales presentes en cada sitio. En base a los resultados obtenidos se evidencia un importante aporte de la vegetación urbana en la calidad de aire, y la necesidad de continuar con los estudios para profundizar los análisis.*

**Palabras clave:** contaminación atmosférica – tránsito vehicular – arbolado urbano

## ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL PARTICULADO SÓLIDO EN SUSPENSIÓN SEGÚN TAMAÑO EN EL ARBOLADO URBANO DE SAN JUAN Y MENDOZA

Moreno<sup>1</sup>, G. y Martínez Carretero<sup>1,2</sup>, E.

1: Geobotánica y Fitogeografía. IADIZA. CONICET.  
CC 507. 5500 Mendoza

[gmoreno@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:gmoreno@mendoza-conicet.gob.ar)

2: Departamento de Biología. Facultad Cs. Ex., F. y Nat. UNSJ

[mcarrete@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:mcarrete@mendoza-conicet.gob.ar)

**Resumen:** *Las ciudades de San Juan y Mendoza con clima árido poseen condiciones meteorológicas propicias para elevadas concentraciones de partículas en suspensión. Las partículas en la atmósfera varían en forma y tamaño, desde submicrón a visibles como granos de polen y arena (Martínez Carretero et al., 2008; Campos et al., 2007). Se reconocen dos tipos de partículas: las sedimentables (5 y 100µm o mayores) que se depositan cerca de la fuente de emisión, y las en suspensión (5µm) que tienden a formar suspensiones relativamente estables en la atmósfera (Martínez Carretero et al., 2008). En ambientes áridos el lavado de partículas del follaje es infrecuente de manera que la vegetación, principalmente de hoja caduca como *Morus alba*, permite evaluar la contaminación del aire urbano. En este trabajo se evaluó la frecuencia de tamaños de partículas sedimentadas, según época del año (primavera, verano, otoño) y siguiendo un gradiente de urbanización (residencial, periurbano y microcentro), en hojas de *M. alba* mediante la observación con microscopio óptico OLYMPUS BX-51 con aumento 40X, con reglilla micrométrica de 1 mm de longitud. Se analizaron hojas de 9 árboles elegidos al azar en cada área. Resultando 27 filtros para Mendoza y 18 para San Juan con particulado, dos muestras por filtro y 3 campos de lectura por muestra. Los resultados preliminares indican la incidencia de las arcillas y limos del suelo en el suburbano de San Juan, y de las partículas de mayor tamaño en el microcentro de Mendoza.*

**Palabras clave:** Particulado, diámetro, urbano

## CAMPAÑA DE MUESTREO DE AEROSOLES EN LA CUENCA ATMOSFÉRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES: RESULTADOS PRELIMINARES

Pereyra<sup>1,3,5\*</sup>, Victoria; Dawidowski<sup>1,3,4</sup>, Laura; Gómez<sup>1,3,4</sup>, Darío; Polla<sup>2</sup>, Griselda y Smichowski<sup>1,5</sup>, Patricia

1: Gerencia Química. Comisión Nacional de Energía Atómica. Av. General Paz 1499. CP1650. Argentina

2: Gerencia de Investigación y Aplicaciones. Comisión Nacional de Energía Atómica

3: Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de San Martín

4: Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires,

5: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

e-mail: [\\*vpereyra@cnea.gov.ar](mailto:*vpereyra@cnea.gov.ar) , [dawidows@cnea.gov.ar](mailto:dawidows@cnea.gov.ar) , [dgomez@cnea.gov.ar](mailto:dgomez@cnea.gov.ar) , [grispoll@cnea.gov.ar](mailto:grispoll@cnea.gov.ar) , [smichows@cnea.gov.ar](mailto:smichows@cnea.gov.ar)

**Resumen.** *Se realizó un estudio para evaluar los niveles de los componentes esenciales (metales, metaloides, iones, y carbono negro) de muestras de PM<sub>2.5</sub> colectadas en el área metropolitana de Buenos Aires a lo largo de una transecta de tres puntos representativa de buenas condiciones atmosféricas de mezcla para esta cuenca de aire con aportes urbanos y suburbanos. Se seleccionaron tres sitios de monitoreo: Costa Salguero (CS) en la costa del Río de la Plata, Parque Centenario (PC) en el centro geográfico de la Ciudad de Buenos Aires (CBA) y el INTA Castelar (IC) en los alrededores de la CBA. Se recogieron muestras de 24 horas de PM<sub>2.5</sub> durante 18 meses (400 muestras), entre agosto de 2008 y diciembre de 2009, en filtros de teflón de 0,45 µm, utilizando un muestreador Airmetrics (5 L / min). También se colectaron muestras en filtros de policarbonato para el análisis morfológico y de componentes químicos mayoritarios por microscopía óptica de barrido (SEM) y por espectroscopía de emisión de energía (EDS). Nuestros resultados demuestran un aumento de los niveles de PM<sub>2.5</sub> desde la costa hasta los sitios más continentales. Los niveles de PM<sub>2.5</sub> variaron en un rango de: (CS) 2,92 - 35,0 µgm<sup>-3</sup>; (PC) 5,69 - 58,7 µgm<sup>-3</sup>; (IC) 4,01 - 71,2 µgm<sup>-3</sup>. La fracción de carbono negro (CN) en PM<sub>2.5</sub> fue mayor en la zona urbana (PC), lo cual es indicativo del impacto de las emisiones del tráfico. El análisis de partículas utilizando las diferentes técnicas de microscopía mostraron que: IC y CS tenía un mayor contenido de partículas de origen biológico y minerales, y una menor proporción de material proveniente del tráfico vehicular. En CS también se encontraron partículas de cloruro de sodio. PC tenía la mayor proporción de material de origen vehicular. La determinación de iones, metales y metaloides está en curso.*

**Palabras clave:** Material particulado, megaciudades, estudio regional, caracterización física y química.

## ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL CENTRO DE SANTA FE: ANÁLISIS PARA PERÍODOS DE 24 HORAS

Ghirardi, R.; Pacheco, C.; Rusillo, S.; Enrique, C. y Caminos, J.

Universidad Tecnológica Nacional,  
Facultad Regional Santa Fe  
Grupo de Estudios Sobre Energía  
Tel.:+ 54 342 4697858/Fax:+ 54 342 4690348  
C.P.: S3004EWB, Santa Fe, Argentina.  
E-mail: [gese@frsf.utn.edu.ar](mailto:gese@frsf.utn.edu.ar)

**Resumen.** *En este trabajo se presentan los resultados del estudio realizado por el GESE – UTN FRSF donde se han medido y analizado las concentraciones de varios contaminantes del aire del centro de la ciudad de Santa Fe para períodos largos de tiempo; particularmente para veinticuatro horas. Basado en estudios previos - donde se han empleado períodos cortos de muestreo - , se seleccionaron las esquinas a ser estudiadas. Posteriormente se procedió a solicitar autorización a los propietarios de los sitios escogidos, para finalmente medir las concentraciones durante 24 horas. Con los valores obtenidos, y previa corrección a condiciones normales de presión y temperatura, se analizaron los mismos considerando como normas de calidad de aire a diferentes legislaciones, tanto de orden local como nacional e internacional. También se ha empleado el análisis a través de un índice de calidad de aire mediante el programa AQI de la EPA, y la proyección de escenarios futuros según el modelo “Calidad de Aire 2”. Los resultados obtenidos hasta el momento permiten vislumbrar una atmósfera que “cumple” con la normativa. No obstante ello, las proyecciones obtenidas predicen una alta probabilidad de deterioro de la calidad del aire urbano santafesino, lo que amerita la implementación de un plan de gestión medioambiental lo antes posible.*

**Palabras clave:** Contaminantes atmosféricos, calidad del aire, fuentes móviles.

## **MONITOREO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE SAN NICOLÁS - ZONA SUR: UN TRABAJO EN EQUIPO UNIVERSIDAD-EMPRESAS**

**Quaranta\*, Nancy E.; Unsen, Miguel A. y Alesio, Gino R.**

Grupo de Estudios Ambientales - GEA  
Facultad Regional San Nicolás  
Universidad Tecnológica Nacional  
Colón 332. 2900. San Nicolás. Pcia. Buenos Aires. Argentina  
e-mail: [nquaranta@frsn.utn.edu.ar](mailto:nquaranta@frsn.utn.edu.ar)  
\*Investigador CIC

**Resumen.** *Numerosas industrias desarrollan sus actividades a orillas del Río Paraná constituyendo el cordón industrial Villa Constitución-San Nicolás-Ramallo, ubicado al sur de la provincia de Santa Fe y al noroeste de la provincia de Buenos Aires. Éstas cubren un amplio rango de categorías de empresas y de rubros industriales, entre los que se pueden mencionar siderúrgicas, metalúrgicas, centrales de energía, cerealeras, de agroquímicos, etc. En función de las ubicaciones relativas y de sus características individuales, y debido a las condiciones meteorológicas predominantes, la zona sur de la ciudad de San Nicolás, resulta la más afectada por las emisiones gaseosas y de material particulado, lo que ha generado una importante preocupación e intranquilidad en los vecinos que habitan esa zona. El objetivo de esta presentación es mostrar la experiencia de generación de un equipo de trabajo, constituido por diez empresas del cordón industrial mencionado, y el grupo GEA de la UTN. Este grupo de tareas, se ha generado a partir de la inquietud de las empresas que participan y de las experiencias previas que algunas de ellas tenían por interacciones con el grupo de investigación GEA. En un primer periodo de actividades se invitaron a participar además a funcionarios del Departamento de Medio Ambiente de la Municipalidad de San Nicolás, y a integrantes del Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible de la Provincia de Buenos Aires. Luego de los primeros acuerdos en relación a las tecnologías a utilizar, los contaminantes a determinar y las localizaciones geográficas de los equipos de monitoreo, se han establecido las primeras estaciones que comenzaron sus registros con fecha noviembre de 2009. Se generan informes mensuales detallados de concentración de contaminantes, índices de calidad de aire, episodios de máximos registrados y condiciones meteorológicas correspondientes. En estos momentos se trabaja con el fin de lograr la incorporación de nuevas empresas al grupo de trabajo, y la ampliación del rango de contaminantes analizados.*

**Palabras clave:** Calidad de aire, monitoreo ambiental, acuerdo de empresas.

## CALIDAD DEL AIRE EN ÁREAS URBANAS E INDUSTRIALES EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA PLATA Y BAHÍA BLANCA.

Colman<sup>1</sup>, E.; Morales<sup>2</sup>, A.; Aguilar<sup>1</sup>, M.; Barrionuevo<sup>3</sup>, P.; Ditondo<sup>4</sup>, J.; Porta<sup>1,3</sup>, A. Massolo<sup>1</sup>, L. y Dodero<sup>2</sup>, V.

1. CIMA, Centro de Investigaciones del Medio Ambiente,  
Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.  
47 y 115. 1900 – La Plata. Tel./fax: 0221-4229329  
[aporta@quimica.unlp.edu.ar](mailto:aporta@quimica.unlp.edu.ar), [jecolman@quimica.unlp.edu.ar](mailto:jecolman@quimica.unlp.edu.ar)

2. Departamento de Química-INQUISUR,  
Universidad Nacional del Sur-CONICET. Av.  
Alem 1253- 8000- Bahía Blanca – Tel/fax: 0291-4594187. [veronica.dodero@uns.edu.ar](mailto:veronica.dodero@uns.edu.ar)

3. LIS, Laboratorio de Ingeniería Sanitaria,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.  
47 No 200. 1900 – La Plata. Tel./fax: 0221-4277714. [dir.lis@ing.unlp.edu.ar](mailto:dir.lis@ing.unlp.edu.ar)

4. Servicio de Pediatría. Hospital Interzonal General de Agudos “Dr. José Penna,  
Av. Laínez 2401- 8000-Bahía Blanca. Tel: 0291-4593600. [juanditondo@gmail.com](mailto:juanditondo@gmail.com)

**Resumen.** *Se presentan los resultados obtenidos en un estudio de calidad de aire ambiente en dos regiones bonaerenses equiparables, desarrollado en forma conjunta entre el Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (Facultad de Ciencias Exactas, UNLP), el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Facultad de Ingeniería, UNLP) y el Departamento de Química de la Universidad Nacional del Sur, entre 2009 y 2010. En el mismo se analizan las concentraciones de contaminantes ambientales (compuestos orgánicos volátiles, COVs), y material particulado en suspensión en aire (MP) en aire extramuros. Las regiones estudiadas comprenden las ciudades de Bahía Blanca y La Plata, considerando además sus alrededores. Ambas se caracterizan por poseer un Polo Petroquímico y un casco urbano con destacado tránsito vehicular. La preocupación actual por estos contaminantes reside en su acción sobre la salud humana, tanto como irritantes de mucosas, conjuntivas y del sistema nervioso, como por sus efectos sobre la función pulmonar, desencadenando enfermedades obstructivas crónicas. Se muestrearon 23 COVs mediante monitores pasivos (3M 3500) y el material particulado (MP10) utilizando un equipo muestreador de bajo caudal MiniVol TAS, en domicilios particulares y escuelas de ambas regiones, diferenciando tres zonas: urbana, industrial y residencial (zona de referencia). Los niveles de COVs fueron determinados por cromatografía gaseosa/FID, comprendiendo n-alcanos, cicloalcanos, aromáticos, compuestos clorados, terpenoides y cetonas. El contenido de MP10 fue determinado por gravimetría. Los datos recogidos evidencian niveles de MP10 superiores en La Plata respecto de Bahía Blanca en todas las zonas analizadas. Sin embargo, los niveles de COVs encontrados en La Plata son inferiores a los determinados en Bahía Blanca, en las tres zonas referenciadas.*

**Palabras Clave:** calidad del aire, compuestos orgánicos volátiles, material particulado, polo petroquímico, tránsito vehicular

## AEROSOL MARINOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES (AMBA)

Dos Santos<sup>1,3,4</sup>, Marina; Gómez<sup>1,2,4</sup>, Darío; Dawidowski<sup>1,2,4</sup>, Laura  
y Smichowski<sup>1,3</sup>, Patricia

<sup>1</sup> Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. General Paz, 1499 San Martín, Buenos Aires  
[mdossant@cnea.gov.ar](mailto:mdossant@cnea.gov.ar)

<sup>2</sup> Universidad de Buenos Aires, Av. Paseo Colón, 850, CF, Argentina.

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Rivadavia, 1917, CF, Argentina

<sup>4</sup> Universidad Nacional de San Martín, 25 de Mayo y Francia, San Martín, Argentina.

E-mail: [dgomez@cnea.gov.ar](mailto:dgomez@cnea.gov.ar); [dawidows@cnea.gov.ar](mailto:dawidows@cnea.gov.ar); [Smichowski@cnea.gov.ar](mailto:Smichowski@cnea.gov.ar)

**Resumen.** *Los aerosoles marinos (AM) participan en procesos atmosféricos que pueden suceder a escala global, regional y urbana. Los AM pueden influenciar en la transferencia radiativa, y el cloruro (Cl<sup>-</sup>) presente en los mismos puede participar en ciclos de formación y remoción de ozono troposférico. Esta depleción de Cl<sup>-</sup> afecta las condiciones ambientales de las grandes ciudades cercanas al mar. Sin embargo los estudios de calidad de aire llevados a cabo en el AMBA no tuvieron en cuenta este tipo de contaminantes ya que se enfocaron principalmente en aquellos que representen un riesgo directo para la salud humana. En este trabajo se reporta el contenido iónico de 226 muestras de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>2.5-10</sub>, colectadas en un sitio de la ciudad de Buenos Aires durante un año. Las concentraciones medias reportadas fueron: 0,13 y 0,42 μg m<sup>-3</sup> para el Cl<sup>-</sup> y 0,10 μg m<sup>-3</sup> y 0,27 μg m<sup>-3</sup> para el Na<sup>+</sup> en PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>2.5-10</sub> respectivamente. Se realizó el análisis de componentes principales y se identificó un factor compuesto exclusivamente por Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, marcadores químicos típicos de los AM. Otro modelo de receptores empleado fue la función potencia, la cual permite incorporar variables meteorológicas en el análisis e identificar las posibles zonas de emisión de contaminantes. Las mayores concentraciones de AM fueron registradas cuando las masas de aire recorrieron zonas tales como la costa atlántica y las condiciones meteorológicas locales presentaron vientos provenientes de la costa (NE, E, SE and SE) y la velocidad del viento fue relativamente alta (> 4 m s<sup>-1</sup>). De acuerdo a nuestros hallazgos las variaciones estacionales y factores meteorológicos como la humedad no permitieron identificar regímenes diferentes en el comportamiento de los AM.*

**Palabras clave:** Aerosoles marinos, identificación de zonas de emisión, AMBA.

## MAPA DE RIESGOS A LA SALUD HUMANA CONSIDERANDO LA DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10: UN CASO DE ESTUDIO

Diez<sup>1,2\*</sup>, Sebastián; Fonseca<sup>1</sup>, José María y Britch<sup>1</sup>, Javier

1: Servicios de Ingeniería Química y Ambiental (SIQA)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional

2: Becario CONICET  
Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba.  
e-mail: [sdiez@quimica.frc.utn.edu.ar](mailto:sdiez@quimica.frc.utn.edu.ar), web: <http://www.siga.com.ar>  
e-mail: [javierbritch@hotmail.com](mailto:javierbritch@hotmail.com)

**Resumen.** *El material particulado es considerado como uno de los contaminantes atmosféricos más importantes en términos de sus efectos sobre la salud. Aproximadamente 1400 millones de residentes urbanos, están expuestos a niveles de concentración de material particulado superiores a los valores aceptables. El objetivo de este trabajo es modelar el riesgo agudo y crónico que representa el material particulado PM10 sobre la salud humana de los habitantes de la Ciudad de Malagueño (Prov. Córdoba), provocada por la dispersión de este contaminante desde una chimenea ubicada en las cercanías. Para valorar el riesgo se utilizará la herramienta denominada Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA), mediante la cual se calculan cuantitativamente los impactos por los daños a la salud, derivados de la exposición a un contaminante ambiental. En la ERA se compara la concentración de PM10 con la Dosis de Referencia (RfC), obteniéndose un Coeficiente de Peligrosidad (HQ). En este trabajo, las concentraciones de PM10 han sido estimadas mediante el modelo computacional ISC (Industrial Source Complex), aplicado sobre una grilla de tamaño  $n \times n$ , utilizando 5 años de datos horarios (2004-2008) para las variables atmosféricas (Dirección y Velocidad del Viento, Estabilidad y Temperatura Ambiente). Los parámetros de emisión (Diámetro y Altura de la chimenea, Velocidad y Temperatura de Salida de los gases y Tasa de Emisión) han sido tomados por SIQA (Servicios de Ingeniería Química y Ambiental). Los resultados obtenidos indican zonas de Malagueño con HQ para riesgos agudos mayores a la unidad y zonas con HQ para riesgos crónicos muy inferiores a la unidad. A raíz de esto sería importante implementar medidas de mitigación para la reducción de los riesgos agudos.*

**Palabras clave:** PM10, Evaluación de Riesgo Ambiental, Coeficiente de Peligrosidad.

## **INFLUENCIA DEL EMPLEO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES EN LAS EMISIONES GASEOSAS DE CALDERAS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.**

**Vidal\*, D.; Pagnan, M.; Pepino Minetti, R.; Fonseca, J. M. y Macaño, H.**

SIQA (Serv. de Ingeniería Química y Ambiental)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro Marcelo López esq. Av. Cruz Roja Argentina  
Ciudad Universitaria - (X5016ZAA) Córdoba – ARGENTINA  
e-mail: [cvidal@quimica.frc.utn.edu.ar](mailto:cvidal@quimica.frc.utn.edu.ar), web: [www.siqua.com.ar](http://www.siqua.com.ar)

**Resumen** *En Argentina la actividad láctea representa uno de los sectores de gran influencia en la economía nacional. Su considerable crecimiento desde hace diez años ha generado a su vez el aumento en el número de calderas utilizadas para la provisión de vapor a dichos procesos, las cuales constituyen fuentes puntuales de contaminación debido a la emisión tanto de gases de combustión como de material particulado proveniente de la combustión de los diferentes combustibles utilizados. Córdoba por su parte participa con un tercio de la producción nacional, por lo que el estudio de las emisiones resulta de gran importancia. Por ello se analizan las emisiones de los siguientes contaminantes: óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), material particulado y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), este último fue considerado por su aporte al calentamiento global, todos ellos generados por la utilización principalmente de gas natural, fuel-oil y leña como combustibles de caldera. Para este estudio se seleccionaron los monitoreos realizados por SIQA en 37 calderas humotubulares las cuales se encontraban trabajando en condiciones normales de operación. Las mediciones se llevaron a cabo de acuerdo a métodos de referencia publicados por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. De acuerdo a esto, las muestras de material particulado se tomaron utilizando instrumental de medición isocinética y posterior determinación gravimétrica de la masa recogida sobre filtro de fibra de vidrio. Para el muestreo y análisis de gases se utilizó un equipo de monitoreo continuo el cual utiliza como metodología de determinación el principio de infrarrojo no-dispersivo para  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  y quimioluminiscencia en el caso de  $NO_x$  atendiendo a lo especificado para cada gas utilizando. Los resultados de este estudio revelan la incidencia de la utilización de diferentes combustibles en la variabilidad de emisiones correspondientes a calderas de la industria láctea.*

**Palabras clave:** Gases de combustión, material particulado, emisiones de caldera, Reunión PROIMCA.

## EMISIONES DE PCDD/PCDF DEBIDO A LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PATÓGENOS EN ARGENTINA.

**Pepino Minetti\*, Roberto C.; Fonseca, José M. ; Vidal, Carlos D.;  
Allende García, María y Macaño, Héctor R.**

SIQA (Serv. de Ingeniería Química y Ambiental)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro Marcelo López esq. Av. Cruz Roja Argentina  
Ciudad Universitaria - (X5016ZAA) Córdoba – ARGENTINA  
e-mail: [rpm@quimica.frc.utn.edu.ar](mailto:rpm@quimica.frc.utn.edu.ar), web: [www.siqua.com.ar](http://www.siqua.com.ar)

**Resumen.** *Los residuos patógenos son aquellos generados debido a las prestaciones médicas que se desarrollan en clínicas y hospitales, tanto públicos como privados. La gestión de los mismos está reglamentada en nuestro país por la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051. Unas de las tecnologías de disposición final más difundidas en nuestro país para este tipo de residuos es la incineración pirolítica. Debido que este tipo de residuos contienen compuestos orgánicos, cloro y metales, la formación de PCDD/PCDF durante o después del proceso de incineración es factible. Tanto la Agencia Internacional para Investigación sobre Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (US-EPA) categorizaron a la 2,3,7,8-tetracloro-p-dibenzodioxina (TCDD) como “carcinógeno para humanos”. Desde el punto de vista legal, la Ley 24.051 señala como límite de emisión 0,1 ng/Nm<sup>3</sup> de gas seco al 10 % de CO<sub>2</sub>. Este valor coincide con el adoptado por los países Europeos, sin embargo es más estricto que los 2,3 ng/dscm adoptado por la US-EPA a través de norma 40 CFR Part 62. Este estudio abarca un total de 11 mediciones realizadas en hornos de mediana y gran capacidad de acuerdo a la categorización que realiza la US-EPA. Los muestreos se realizaron utilizando un muestreador isocinético, aplicando el método 23 de la US-EPA. Los análisis se realizaron utilizando un cromatógrafo gaseoso de alta resolución acoplado a un detector de masas de alta resolución (HRGC/HRMS) permitiendo la identificación del tipo de dioxina o furano presente en la muestra logrando niveles de detección del orden de los picogramos. Los resultados del presente estudio muestran que las mayores emisiones se deben a compuestos de la familia de los Furanos. En cuanto a las concentraciones emitidas mostraron variabilidad en los valores obtenidos los cuales son superiores al límite de emisión en la mayoría de los casos.*

**Palabras clave:** PCDD/PCDF, incineración, residuos patógenos, Reunión PROIMCA.

## DETERMINACIÓN IN-SITU DE METALES PESADOS EN MATERIAL PARTICULADO EMITIDOS POR FUENTES PUNTUALES.

**Pepino Minetti\*, Roberto C.; Pagnan, Mariangeles; Piccioni, Martín N. y Britch, Javier**

1: SIQA (Serv. de Ingeniería Química y Ambiental)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro Marcelo López esq. Av. Cruz Roja Argentina  
Ciudad Universitaria - (X5016ZAA) Córdoba – ARGENTINA  
e-mail: [rpm@quimica.frc.utn.edu.ar](mailto:rpm@quimica.frc.utn.edu.ar), web: [www.siqua.com.ar](http://www.siqua.com.ar)

**Resumen.** *Córdoba, capital de la provincia homónima, cuenta con un millón trescientos treinta mil habitantes, observándose una heterogénea distribución del crecimiento, el cual evoluciona hacia los sectores y localidades periféricas conocidas como ciudades satélites. Entre éstas encontramos a Malagueño, que tiene a Córdoba y a Carlos Paz como sus principales vecinos. Una ruta nacional, una provincial y una autopista permiten un rápido acceso al centro de la capital cordobesa. En los últimos años se ha producido un fuerte crecimiento de nuevas formas de asentamiento, siendo un atractivo escenario inmobiliario para el desarrollo de “countries de montaña”. Así mismo, en Malagueño se encuentran radicadas dos plantas de cemento con una marcada incidencia en la economía local. Cada planta cementera sustituye parcialmente el combustible utilizado (gas natural o fuel oil) por combustibles alternativos lo que aumenta la probabilidad de emitir metales pesados además de material particulado y gases de combustión. Nuestra legislación nacional (Ley Nac. 24.051- Dec. 831) reglamenta la tasa de emisión de arsénico, cadmio, cromo, manganeso y plomo. Desde el año 2.004 hasta la fecha, el SIQA viene desarrollando un plan de estudios ambientales, entre los que se encuentran los monitoreos de las emisiones gaseosas y calidad de aire en dichas plantas. Para la toma de muestras se utilizó un muestreador isocinético configurado para el Método 5 del 40 CFR Part 60 de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. Para la recolección de las partículas se utilizaron filtros de cuarzo. Para la cuantificación de las muestras se utilizó un equipo portátil de Fluorescencia de Rayos X mediante curvas de calibración por estándares externos. De esta manera se concluye que este equipamiento permite la determinación analítica in-situ de concentraciones de metales contaminantes en particulado de acuerdo a lo establecido en la legislación brindando versatilidad en lo toma de decisiones.*

**Palabras clave:** emisiones, metales pesados, análisis in-situ, Reunión PROIMCA.

## ESTUDIO SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA PLATA

Reyna Almandos<sup>1,2</sup>, J.; Arrieta<sup>2</sup>, N.; Sacchetto<sup>2</sup>, V.; Garcimuño<sup>3</sup>, M.; Bertuccelli<sup>3</sup>, G.;  
Orte<sup>3</sup>, M. y Santágata<sup>4</sup>, D.

1: Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET-CIC)  
Camino Centenario e/ 505 y 508, La Plata  
[jreyna@ciop.unlp.edu.ar](mailto:jreyna@ciop.unlp.edu.ar)

2: Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
Calle 60 y 124, La Plata  
[noranarrieta@hotmail.com](mailto:noranarrieta@hotmail.com), [vss@frlp.utn.edu.ar](mailto:vss@frlp.utn.edu.ar)

3: Departamento de Ciencias Físicas y Ambientales  
Facultad de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires  
Pinto 399, Tandil  
[mayragarcimuno@gmail.com](mailto:mayragarcimuno@gmail.com), [gbertucc@exa.unicen.edu.ar](mailto:gbertucc@exa.unicen.edu.ar), [elmarcos80@yahoo.com.ar](mailto:elmarcos80@yahoo.com.ar)

4: Gerencia Química  
Centro Atómico Constituyentes  
Comisión Nacional de Energía Atómica  
Avda. Gral Paz 1499, San Martín  
[dm\\_santagata@yahoo.es](mailto:dm_santagata@yahoo.es)

**Resumen.** *El estudio y medición de la concentración de contaminantes atmosféricos se realiza desde hace varios años en la UTN-FRLP, cercana al Polo Petroquímico de la región. Se cuenta entonces con gran cantidad de datos de SO<sub>2</sub>, obtenidos midiendo la fluorescencia en UV de este gas, así como mediante la aplicación de la técnica espectrofotométrica - método ASTM 2914-01. En este trabajo se presentan nuevos resultados sobre el estudio de este y de otros contaminantes atmosféricos en dicha región, específicamente aerosoles y PM<sub>10</sub>. Fue utilizado un radiómetro Microtops II para la determinación de la concentración de aerosoles, y un equipo Airmetrics con filtros en la medición del material particulado. Posteriormente se aplicaron técnicas de espectroscopía óptica (plasmas generados por pulsos láser) para el análisis de los filtros, encontrándose metales pesados y otros compuestos característicos de la zona estudiada. Los datos de aerosoles obtenidos en dicha región fueron contrastados con los tomados en una zona residencial alejada, mostrando en éstos menores valores. En la interpretación de los resultados obtenidos se realizó la comparación con otros datos, así como la correlación con parámetros meteorológicos de la región.*

**Palabras clave:** Aerosoles, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>

## ANÁLISIS DE ESTIMACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN CHIMENEA DE INGENIO DE TUCUMÁN

Murillo<sup>1\*</sup>, M. D, Gianetto. E. F.<sup>2</sup>; Neme<sup>2</sup>, N.; Moya<sup>2</sup>, N. S, Vega<sup>2</sup>, Caro. L.

1: Integrantes Centro de Investigación e Ingeniería Ambiental - CEDIA  
Facultad Regional Tucumán  
Rivadavia 1050  
e-mail: emm@tucbbs.com.ar

2: Integrantes Centro de Investigación e Ingeniería Ambiental - CEDIA  
Facultad Regional Tucumán  
Rivadavia 1050  
e-mail: [vecagi@hotmail.com](mailto:vecagi@hotmail.com); [nemenadim@hotmail.com](mailto:nemenadim@hotmail.com)

**Resumen.** *El modelo SCREEN fue desarrollado para proporcionar un método fácil de usar para obtener estimaciones de concentración de contaminantes basadas en el documento de procedimientos de filtración. Aprovechando la gran disponibilidad de las computadoras personales (PCs), el modelo SCREEN hace los cálculos de filtración accesibles a una gran variedad de usuarios. Se han realizado todos los cálculos de corto plazo para una sola fuente en el documento de procedimientos de filtrado, incluyendo la estimación de concentraciones del máximo nivel de piso y la distancia a éste, incorporando los efectos del flujo de caída por edificios en las concentraciones máximas para las regiones cercanas y lejanas de la estela, estimando las concentraciones en la zona de recirculación de cavidad, estimando las concentraciones debido al rompimiento de inversión y fumigación de litoral, y determinando el ascenso de la pluma para liberaciones por incinerado. Teniendo en cuenta los efectos de terreno elevado sencillo en concentraciones máximas, y calculando las concentraciones promedio de 24 horas ocasionadas por la impactación de la pluma en terreno complejo usando el procedimiento de filtrado de 24 horas del modelo VALLEY.*

*El valor obtenido de la concentración 16 ug/m<sup>3</sup> vs. distancia de 120 m, permite observar que a la distancia indicada se encuentra la mayor concentración de contaminantes de la pluma desde la chimenea del ingenio.*

**Palabras clave:** Estimación, Concentración, Contaminantes, Chimenea, Ingenio, Tucumán

## INVENTARIO DE EMISIONES POR QUEMA DE BIOMASA Y ESTIMACIÓN DE SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE AIRE EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

**Cremades\* , Pablo; Puliafito, Salvador E. y Allende, David**

Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales  
Facultad Regional Mendoza

Universidad Tecnológica Nacional / CONICET  
Rodríguez 273 (5500) Mendoza, Argentina

e-mail: [pablocremades@gmail.com](mailto:pablocremades@gmail.com), [epuliafito@frm.utn.edu.ar](mailto:epuliafito@frm.utn.edu.ar); [david.allende@frm.utn.edu.ar](mailto:david.allende@frm.utn.edu.ar),

web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

**Resumen.** *La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*, L.) es un cultivo de gran importancia en la Provincia de Tucumán, particularmente en los departamentos de Cruz Alta, Leales, Graneros y Simoca. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el impacto sobre la calidad de aire de las emisiones por quema de biomasa pre y post cosecha de caña de azúcar en las áreas urbanas aledañas a las zonas cultivadas. Los datos sobre áreas cultivadas, fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La información de ubicación de los focos de incendios se obtuvo del instrumento Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), abordo de las plataformas Terra y Aqua, con una disponibilidad temporal de hasta 4 imágenes por día. La evaluación del transporte e impacto de las emisiones resultantes, se hizo utilizando el modelo de calidad de aire CALPUFF, recomendado por Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA) para la evaluación de transporte y dispersión de contaminantes en escalas urbanas. Se utilizaron datos meteorológicos de superficie de las estaciones meteorológicas del INTA Famaillá y del Servicio Meteorológico Nacional en el aeropuerto de Tucumán. Asimismo, se incorporaron pronósticos meteorológicos obtenidos con el modelo regional Weather Research and Forecasting (WRF) corrido en forma anidada en dominios de resolución de 27 y 9 km. Las salidas fueron procesadas por CALMET para la generación de campos meteorológicos en 2 y 3 dimensiones. En este estudio se incorporaron datos de topografía Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y datos de uso de suelo de MODIS. Para el estudio se consideró el período comprendido entre agosto y setiembre de 2009, en el cual se observaron mayor cantidad de focos de incendio. Para evaluar los resultados de la modelación, se utilizaron datos de concentración de monóxido de carbono de la plataforma satelital Tropospheric Emission Spectrometer (TES).*

**Palabras clave:** Quema de Biomasa, Caña de Azúcar, CALPUFF, contaminación urbana, MODIS, TES.

## **POLVOS SEDIMENTABLES (PS) EN SAN MIGUEL DE TUCUMÁN**

**Neme, N.\*; Moya, N. S; Murillo, M. D.; Gianetto, E. F. y Vega Caro, L.**

Integrantes Centro de Investigación e Ingeniería Ambiental - CEDIA  
Facultad Regional Tucumán  
Rivadavia 1050

e-mail: [nemenadim@hotmail.com.ar](mailto:nemenadim@hotmail.com.ar)

e-mail: [susana\\_moya2004@yahoo.com.ar](mailto:susana_moya2004@yahoo.com.ar); [emm@tucbbs.com.ar](mailto:emm@tucbbs.com.ar); [vecagi@hotmail.com](mailto:vecagi@hotmail.com)

**Resumen.** *Para el estudio de polvos sedimentables del aire en San Miguel de Tucumán se han establecido cuatro (4) estaciones de muestreo seleccionadas según la concentración de la población en la zona, la actividad humana, las calles y avenidas muy transitadas, existencia de algunas industrias contaminantes y algunas obras de caminos que emiten grandes cantidades de partículas hacia el aire. Se ha utilizado el método gravimétrico, por diferencia de pesos. Obteniéndose valores mensuales durante dos años. Con un concentración media de sólidos totales sedimentables en el aire de 1 miligramo /cm<sup>2</sup> x 30d. Con variaciones superiores dependiendo del mes, pero manteniendo el valor para el segundo año en el mismo mes. En cada estación se instala una columna de hierro de dos metros de altura con un frasco plástico de muestreo de 13.5cm de altura y de 12cm diámetro interior y de 5m de distancia de paredes. Se considera que la concentración de sólidos totales sedimentables en el aire es de 1 miligramo /cm<sup>2</sup> x 30d. Después de analizar los datos encontramos que el ambiente atmosférico de San Miguel de Tucumán está contaminado de partículas orgánicas e inorgánicas, en especial polvo de tierra y microscópicamente esporas de vegetales, hongos, pelos de animales y malojas de la caña de azúcar.*

**Palabras clave:** Polvo, Sedimentable, Tucumán

## ANÁLISIS DE EMISIONES DURANTE LA PRODUCCIÓN DE CERÁMICOS CON AGREGADOS DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Quaranta<sup>1,2</sup>, Nancy E.; Caligaris<sup>1</sup>, Marta G.; Unsen<sup>1</sup>, Miguel A. y Lalla<sup>1</sup>, Nicolás S.

1: Grupo de Estudios Ambientales - GEA  
Facultad Regional San Nicolás  
Universidad Tecnológica Nacional  
Colón 332. 2900. San Nicolás. Pcia. Buenos Aires. Argentina  
e-mail: [nquaranta@frsn.utn.edu.ar](mailto:nquaranta@frsn.utn.edu.ar)  
2: Investigador CIC

**Resumen.** *En la última década se ha incrementado la preocupación mundial por las grandes cantidades de residuos industriales de proceso (RP), producidos y acumulados en los predios de las empresas, o depositados en vertederos o terrenos de disposición final, en la mayoría de los casos sin el control de seguridad necesario. Esto ha llevado al desarrollo de numerosos métodos y tecnologías que permitan su reutilización o reciclado, entre los que se pueden mencionar como los más utilizados: relleno de terrenos bajos, incorporación a matrices cementíceas, adiciones en mezclas asfálticas y agregados en arcillas para la producción de materiales cerámicos. En este último caso, las condiciones de altas temperaturas [900-1300°C] utilizadas para la obtención de productos sinterizados, conducen a la combustión de todos aquellos materiales combustibles presentes en las mezclas, en su mayoría materiales orgánicos o carbonosos. Los casos extremos están dados por los RP denominados “formadores de poros”, que se queman en su totalidad durante los tratamientos térmicos, produciendo materiales con altas porosidades llamados “alivianados”, como por ejemplo aserrines o tirillas de industrias madereras, descartes de poliestireno de industrias de paneles y embalaje, y caucho molido. El objetivo de este trabajo es analizar las emisiones producidas durante la cocción de mezclas arcillosas compactas que contienen diversos RP. Se estudian residuos tales como arenas de fundición, lodos siderúrgicos, polvos de caza de humos, poliestireno, aserrines, etc. Se utiliza tecnología de sensores electroquímicos para la detección de los contaminantes CO, HC, NOx y PM10. De los resultados obtenidos se concluye que es determinante analizar las aptitudes ambientales de estos procesos antes de ser llevados a escalas industriales.*

**Palabras clave:** Emisiones, residuos de proceso, cerámicos.

## DINÁMICA DE MATERIAL PARTICULADO GRUESO

Cionco<sup>1</sup>, Rodolfo G.; Quaranta<sup>1,2</sup>, Nancy E. y Caligaris<sup>1</sup>, Marta G.

1: Grupo de Estudios Ambientales

Facultad Regional San Nicolás

Universidad Tecnológica Nacional

Colón 332 (2900), San Nicolás, Buenos Aires

e-mail: [gcionco@frsn.utn.edu.ar](mailto:gcionco@frsn.utn.edu.ar), [nquaranta@frsn.utn.edu.ar](mailto:nquaranta@frsn.utn.edu.ar), [mcaligaris@frsn.utn.edu.ar](mailto:mcaligaris@frsn.utn.edu.ar)

2: Investigador CIC

**Resumen.** *Una fracción importante del material particulado liberado a la atmósfera en procesos industriales o naturales corresponde a partículas cuyos diámetros aerodinámicos son mayores que 50  $\mu\text{m}$ . Se ha mostrado para estas partículas que la clásica descripción de los procesos de difusión, tipo pluma gaussiana, es inadecuada para describir su transporte y deposición. En este trabajo se presentan nuevos resultados referentes a la dispersión de material particulado grueso. Las simulaciones se realizan con un código propio que utiliza el integrador numérico de Bulirsch y Stoer para calcular trayectorias tridimensionales de partículas liberadas al ambiente bajo condiciones muy generales. Los procesos turbulentos se simulan mediante la ecuación de Langevin y las condiciones meteorológicas se modelan según circunstancias de estabilidad neutral (longitud de Monin-Okhubov  $L > 0$ ) e inestabilidad ( $L < 0$ ). Se presentan diversos casos estudiados en base a simulaciones tipo Monte Carlo y se discute el efecto de las condiciones meteorológicas sobre la deposición final de las partículas.*

**Palabras clave:** Partículas gruesas, Material particulado, Modelos y simulaciones, Contaminación atmosférica

## MODELADO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM10 CONSIDERANDO LA VARIABILIDAD ESTOCÁSTICA DE LAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS Y DE EMISIÓN

Diez<sup>1,2</sup> \*, Sebastián; Ré<sup>1</sup>, Miguel y Britch<sup>1</sup>, Javier

1: Servicios de Ingeniería Química y Ambiental (SIQA)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional

2: Becario CONICET  
Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba.  
e-mail: [sdiez@quimica.frc.utn.edu.ar](mailto:sdiez@quimica.frc.utn.edu.ar), web: <http://www.siga.com.ar>  
e-mail: [javierbritch@hotmail.com](mailto:javierbritch@hotmail.com)

**Resumen.** *El modelado de la dispersión de contaminantes generalmente se realiza considerando a las variables del modelo como deterministas, es decir variables que adoptan valores puntuales. La estimación determinista no atiende a la probabilidad de ocurrencia de los valores obtenidos, es decir que desconoce la frecuencia con que se suscitan los eventos contaminantes. Por otra parte, si se considera la variabilidad estocástica de las variables independientes, es posible obtener la distribución de salida del modelo y con ello determinar la frecuencia de ocurrencia de las concentraciones de interés. El objetivo de este trabajo es estimar la concentración de material particulado PM10, considerando la variabilidad estocástica tanto de las variables atmosféricas (Dirección y Velocidad del Viento, Estabilidad Atmosférica y Temperatura Ambiente) como así también la de los factores de emisión de una chimenea en particular (Velocidad y Temperatura de los gases de salida y Tasa de Emisión). Esto nos permitirá estudiar la influencia que tienen las distintas variables sobre la concentración y aproximar las distribuciones de concentración para cada receptor, pudiendo determinar la ubicación de aquellos percentiles de interés. Para el modelado de la concentración de PM10, se ha desarrollado un programa sencillo que combina los algoritmos de dispersión del modelo ISC (Industrial Source Complex) con la simulación Monte Carlo (MC). Este modelo, denominado ISC-MC, ha sido desarrollado mediante un código en VBA (Visual Basic for Applications), acoplado con el utilitario Crystal Ball (Palisade Corporation). Como caso de estudio se ha tomado a la Ciudad de Malagueño, la cual se ubica aproximadamente a 2 km de un complejo de chimeneas emisoras de PM10. Para una simulación de 100.000 iteraciones, la concentración horaria de PM10 para el receptor máximamente expuesto ( $X=0m$ ,  $Y=1700m$ ), muestran que el Percentil 95 tiene un valor de  $139.59 \mu g/m^3$  y que la Media es de  $26.32 \mu g/m^3$ .*

**Palabras clave:** PM10, Variabilidad Estocástica, Monte Carlo, ISC-MC.

## MODELADO DE LA DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LAS EMISIONES GASEOSAS ANTROPOGÉNICAS EN REGIONES TOPOGRÁFICAMENTE COMPLEJAS

**Fernandez\*, Rafael P. ; Allende, David G.; Castro, Fernando H.; Cremades, Pablo G. y Puliafito, Salvador E.**

Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA)  
Facultad Regional Mendoza (FRM)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN) / CONICET  
Coronel Rodriguez 273, Ciudad, Mendoza. CP: 5500. ARGENTINA  
e-mail: rpfernandez@uncu.edu.ar, <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

**Resumen.** *En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el modelado 3D de la calidad de aire regional en Mendoza utilizando el modelo WRF/Chem (Weather Research and Forecasting model with Chemistry). La distribución vertical de los contaminantes antropogénicos y los campos de viento vectoriales se presentan en tres planos verticales distintos (longitudinal, latitudinal y siguiendo la dirección de los vientos), todos intersectando el punto máximo de concentración de la pluma de contaminantes. Distintas parametrizaciones y esquemas físicos y químicos son analizados con la intención de determinar la configuración más adecuada del modelo para describir regiones topográficamente complejas como es la región de Cuyo. El análisis incluye la evolución temporal horaria de la pluma de contaminantes emitidos en la ciudad de Mendoza para un día típico de primavera. La altura de la PBL (Capa Límite Planetaria) modelada muestra una transición a medida que transcurre el día, mostrando mayores valores sobre la cordillera/precordillera durante la madrugada, revirtiendo esta situación a partir del mediodía hasta alcanzar su máximo valor sobre el llano por la tarde sobre (entre 2500 y 3000 m a las 17:00). En particular se analiza el monóxido de carbono CO (considerado como un trazador) y el dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> (principal precursor de O<sub>3</sub> en la tropósfera), cuyas concentraciones máximas dependen de los cambios en la PBL. Los valores obtenidos son promediados y comparados con mediciones realizadas utilizando sensores pasivos colocados en la base y en los picos de los Cerros Arco y La Crucecita. La [O<sub>3</sub>] supera los 100 µg m<sup>-3</sup> en los picos, con valores hasta un 35% mayores que en la base, mientras lo opuesto ocurre para [NO<sub>2</sub>] (valores máximos de 5.5 µg m<sup>-3</sup> en la base, y de 4 µg m<sup>-3</sup> en los picos).*

**Palabras clave:** WRF/Chem, Calidad de Aire, Química Atmosférica, Emisiones Urbanas

## VALIDACIÓN DEL MODELO WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (WRF) PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VAPOR DE AGUA ATMOSFÉRICO EN MENDOZA.

**Puliafito\*, Salvador E.; Allende, David y Cremades, Pablo**

Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales

Facultad Regional Mendoza

Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

Rodriguez 273 (5500) Mendoza, Argentina

e-mail: [epuliafito@frm.utn.edu.ar](mailto:epuliafito@frm.utn.edu.ar) ; [david.allende@frm.utn.edu.ar](mailto:david.allende@frm.utn.edu.ar), [pablocremades@gmail.com](mailto:pablocremades@gmail.com)

web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

**Resumen.** *El Weather Research and Forecasting model (WRF) es un novedoso modelo meteorológico no-hidrostático que resuelve en una escala regional las ecuaciones dinámicas primitivas considerando la conservación de los flujos escalares y de masa a partir de condiciones iniciales y de contorno obtenidas de modelos de circulación global. Sin embargo, siendo una aplicación tan reciente, y en continuo desarrollo, resulta necesario evaluar los resultados del modelo a fin de determinar la configuración más apropiada para el estudio que se desea realizar. La calibración del modelo y la intercomparación de diversas mediciones permiten conocer más adecuadamente los fenómenos meteorológicos para su uso como herramienta de pronóstico, o para el estudio de diversos problemas ambientales. Este trabajo muestra la integración de múltiples fuentes de información para la evaluación de los pronósticos meteorológicos arrojados por WRF para el caso particular de la provincia de Mendoza. Se utilizaron los perfiles de temperatura y punto de rocío de la estación SAME, 87418: 32°50'S 68°47'W. A fin de mitigar el problema de la representatividad espacial de los datos de dicha estación, se utilizaron también datos del instrumento Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) abordo de las plataformas Terra y Aqua, que están disponibles para toda la región. Finalmente, se compararon los datos de columna total de vapor de agua con los datos obtenidos mediante un radiómetro operado por el Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales. El estudio se realizó sobre el período 2007-2010. Los datos fueron procesados mediante herramientas estadísticas con el fin de obtener conclusiones generales que permitan utilizar en el futuro estas mismas fuentes de información de manera operativa.*

**Palabras clave:** modelo WRF, temperatura, humedad, MODIS, radiómetro.

## **PLANEAMIENTO DEL MANEJO DE EMERGENCIAS EN CIUDADES: ACOPLAMIENTO DE MODELOS DE TRANSPORTE Y EXPOSICIÓN.**

**Sánchez<sup>1\*</sup>, E.Y.; Gonzalez<sup>2</sup>, E.M.; Porta<sup>1</sup>, A.A.; Acquesta<sup>2</sup>, A.D y Jacovkis<sup>3,4</sup>, P.M**

1: Centro de investigaciones del Medio Ambiente (CIMA), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

2: Departamento Modelado y Manejo de Crisis (DMMC), Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), Villa Martelli.

3: Departamento de Computación e Instituto de Cálculo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA).

4: Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, UBA

\* [yaninasanch@gmail.com](mailto:yaninasanch@gmail.com)

**Resumen.** *Los efectos potenciales de la liberación accidental o intencional de sustancias peligrosas en la atmósfera continúan siendo motivo de preocupación, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. Los responsables en el manejo de emergencias necesitan contar con estimaciones de los efectos sobre la población de las emisiones para ayudar a la planificación, la respuesta a la emergencia y los esfuerzos de recuperación. Para este fin, los modelos que predicen el transporte de las sustancias peligrosas son tan necesarios como aquellos que estiman el daño sobre la población. En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos al acoplar un modelo CFD: FLACS, con un modelo de exposición: DDC. Esta herramienta es aplicada a un escenario complejo de descarga hipotética de cloro, con presencia de obstáculos. La ventaja de FLACS es su capacidad para simular los efectos locales generados por las edificaciones, las irregularidades del terreno, y posibles medidas de mitigación como las cercas. Por su lado, DDC estima en forma temporal e incremental, el nivel de daño que puede experimentar la población expuesta. Los resultados muestran como este acoplamiento puede dar cuenta de los detalles del flujo y de la dispersión en áreas densamente edificadas, así como del daño potencial en la población expuesta mientras la nube tóxica transcurre. Cabe destacar que, si bien los modelos de dispersión que presentan tiempos de corridas mayores al real no son adecuados para responder a una emergencia mientras transcurre, estos pueden ofrecer detalles que no son contemplados por los modelos tradicionalmente usados en el manejo de emergencias. La persistencia de altas concentraciones entre los edificios después que la nube ha pasado, es un resultado que avala lo antes mencionado y fundamenta que estos detalles deben ser contemplados en el planeamiento del manejo de emergencias en ciudades.*

**Palabras claves:** Planeamiento del manejo de emergencias, FLACS, DDC, sustancias peligrosas.

## EMISION DE HUMOS HACIA LA ATMÓSFERA Y LOS POSIBLES DAÑOS A LA SALUD CAUSADOS POR LA QUEMA DE CUBIERTAS

**Luján, Juan Carlos**

Facultad Regional Tucumán. Universidad Tecnológica Nacional.  
Rivadavia 1050. S.M. de Tucumán. Argentina  
TE: (0381) 4321194  
[jclujan53@yahoo.com.ar](mailto:jclujan53@yahoo.com.ar)

**Resumen.** *Se realizó una investigación sobre los niveles de contaminación atmosférica originada por la quema de cubiertas en la vía pública, hallándose altas concentraciones de sustancias peligrosas en los alrededores de las fogatas. La toma de muestras se realizó durante manifestaciones públicas de más de dos horas de duración, mediante una bomba portátil personal captando muestras de aire a la altura del cuello del muestreador a distintas distancias de los focos de emisión de humos. Las condiciones atmosféricas se realizaron en ausencia de vientos, lo cual favorece la no dispersión de los contaminantes. Se seleccionaron parámetros analíticos teniendo en cuenta la composición del caucho y los aditivos utilizados en la fabricación de neumáticos mas los componentes que puede esperarse obtener de una combustión incompleta, para lo cual se estudiaron las partículas de hollín, el dióxido de azufre, sustancias alquitranosas solubles en benceno, los benzopirenos y dibenzoantracenos. Los resultados obtenidos son alarmantes ya que la concentración de algunos contaminantes superan en varios centenares de veces a la concentración de referencia, en tanto que se pudo comprobar que el radio de impacto ambiental evidenciable generado por estos episodios abarca más de 150 metros cubriendo alrededor de 4 hectáreas. La contaminación atmosférica ocasionada por la quema de neumáticos emite hacia la atmósfera humos pesados con partículas carboalquitranosas que a su vez transportan otros polutantes. Dichas partículas terminan sedimentando sobre las superficies domésticas y afectando algunos alimentos expuestos a la atmósfera, como es el caso del pan, las frutas y las verduras que se consumen crudas, transformándose estos últimos en vectores que transportan los contaminantes a la vía digestiva. La asociación del dióxido de azufre con partículas de hollín menores a 10 micrones de diámetro constituye un potente desencadenante de crisis alérgico respiratorias para personas que padecen estas enfermedades crónicas. Otros factores que agravan la contaminación atmosférica en la provincia de Tucumán son la quema de los cañaverales y bagazo en la zafra azucarera agravado por la presencia de humedad y la falta de vientos que dispersen la contaminación.*

**Palabras claves:** Quema de Cubiertas, Humos, Hollín, Alquitranes, Benzopirenos

## ESPECIACIÓN QUÍMICA DE EMISIONES PARA SU INCLUSIÓN EN WRF/CHEM

Castro<sup>1\*</sup>, Fernando; Fernandez<sup>12</sup>, Rafael; Allende<sup>1</sup>, David y Cremades<sup>1</sup>, Pablo

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA)  
Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional / CONICET  
Rodríguez 273, Mendoza  
e-mail: [ferhcastro@gmail.com](mailto:ferhcastro@gmail.com); web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa>

2: Instituto de Ciencias Básicas (ICB)  
Universidad Nacional de Cuyo  
Centro Universitario s/n. Parque Gral. San Martín, Mendoza

**Resumen.** *Los modelos de calidad del aire (MCA) se han convertido en herramientas esenciales para entender la interacción entre meteorología, emisiones y química atmosférica. Las capacidades y performance de estos MCA han sido mejoradas sustancialmente en años recientes y existe una clara tendencia hacia aplicaciones que incluyan dominios de modelado más extensos, mayores resoluciones de grilla y la inclusión de complejos fenómenos químicos. Los mecanismos químicos (ej. RADM2, CB4, SAPRC-99, RACM) incluidos en algunos MCA como el modelo WRF/Chem (Weather Research and Forecasting Model with Chemistry), contienen una serie de ecuaciones simplificadas que utilizan “especies modelo” para representar la química atmosférica. Los inventarios de emisión que, en general, se construyen para una variedad de compuestos y clases químicas deben convertirse en las “especies modelo” requeridas en los MCA por medio de perfiles de especiación. Sin embargo, estas especies no se corresponden entre los distintos mecanismos químicos existentes, debiendo re-procesar las emisiones si el mecanismo elegido en el MCA se cambia. En este trabajo se ha desarrollado una metodología para obtener la especiación química de emisiones según diferentes mecanismos químicos, la cual se adapta al formato requerido por el preprocesador de emisiones de WRF/Chem denominado emis\_v03. Dicha metodología se ha aplicado a fin de obtener la especiación de las emisiones vehiculares del año 2006 de la ciudad de Mendoza según el mecanismo químico RADM2. Los resultados obtenidos se han utilizado en WRF/Chem para simular la evolución espacio-temporal de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y ozono troposférico (O<sub>3</sub>) dentro de una pluma reactiva en una escala regional.*

**Palabras clave:** especiación química, emisiones, WRF/Chem, RADM2

## **RIESGO DE ACIDIFICACIÓN EN ARGENTINA A TRAVÉS DE MODELADO: FACTORES DE CARACTERIZACIÓN DEPENDIENTES DEL SITIO COMO INDICADORES DE IMPACTO**

**Allende\*<sup>1</sup>, David G.; Civit<sup>2</sup>, Bárbara M. y Puliafito<sup>1</sup>, Salvador E.**

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales

Facultad Regional Mendoza

Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

Rodriguez 273 (5500) Mendoza, Argentina

e-mail: [david.allende@frm.utn.edu.ar](mailto:david.allende@frm.utn.edu.ar), [epuliafito@frm.utn.edu.ar](mailto:epuliafito@frm.utn.edu.ar) web: <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/>

2: Grupo CLIOPE

Facultad Regional Mendoza

Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

Rodriguez 273 (5500) Mendoza, Argentina

e-mail: [bcivit@frm.utn.edu.ar](mailto:bcivit@frm.utn.edu.ar)

**Resumen.** *El proceso de acidificación de suelos es un problema ambiental claramente reconocido. Las emisiones de sustancias acidificantes como SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y NH<sub>3</sub> pueden provenir de diversas fuentes naturales, como las erupciones volcánicas, o antrópicas originadas en el sector industrial, residencial o de transporte, entre otros. Esas sustancias, una vez en la atmósfera, viajan antes de depositarse como contaminantes primarios o como contaminantes secundarios luego de haber sufrido diversas reacciones. El impacto que esa deposición puede causar sobre los distintos ecosistemas terrestres dependerá de la magnitud de la cantidad depositada y de las características del lugar donde se depositen. La diversidad de ecosistemas que presenta el territorio argentino impulsa conocer el impacto que se produce como consecuencia de la deposición de sustancias acidificantes por regiones biogeográficas. Para ello, se utilizaron los inventarios de emisión globales RETRO y EDGAR con el objeto de alimentar el modelo de mesoescala WRF/Chem y cuantificar la deposición ácida sobre todo el territorio. Asimismo, estos resultados se compararon con las salidas generadas por el modelo Windrose Model Interpreter (WMI) herramienta ampliamente utilizada para la determinación de emisiones y deposiciones acidificantes y eutroficantes. Estos resultados fueron posteriormente incorporados a un modelo de caracterización que determina factores de acidificación considerando una relación lineal entre el efecto y la cantidad en exceso sobre la capacidad amortiguadora del suelo. Se han obtenido resultados para todo el territorio nacional que podrán incluirse en la determinación de impactos de acidificación en el contexto del Análisis de Ciclo de Vida. Con este trabajo se ha logrado caracterizar los ecosistemas terrestres nacionales frente a los posibles efectos de acidificación.*

**Palabras clave:** Acidificación, modelo WRF/Chem, modelo WMI, emisiones acidificantes

## ORIGEN DE LA CONTAMINACION POR NITRATOS DEL AGUA SUBTERRANEA EN SALSIPUEDES – CORDOBA.

**López<sup>\*</sup>, Claudia G. y Macaño, Héctor R.**

Servicios de Ingeniería Química y Ambiental (SIQA)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional.

Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba. [Tel:+54.0351 . 598-6000](tel:+5403515986000)

e-mail: [clau1\\_lopez@yahoo.com.ar](mailto:clau1_lopez@yahoo.com.ar)

e-mail: [hmacano@quimica.frc.utn.edu.ar](mailto:hmacano@quimica.frc.utn.edu.ar)

**Resumen.** *El agua subterránea tiene un papel muy importante en la localidad de Salsipuedes del departamento Colón en la provincia de Córdoba, ya que su población es abastecida de manera exclusiva por este recurso. La calidad del agua subterránea de esta zona se vio deteriorada por la aparición de nitratos en algunos de los pozos de abastecimiento, en concentraciones mayores a las permitidas por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia que fija este valor en  $\leq 45$  mg/L. Con este trabajo se procura establecer las posibles fuentes de contaminación que aportan nitratos al agua subterránea. Así, entre Agosto del 2009 y Setiembre del 2010 se tomaron 56 muestras de todos los pozos de producción y se analizaron en el laboratorio diversos parámetros físico – químicos. Se implementó el método de Análisis por Factores sobre los parámetros medidos con el fin de distinguir el impacto de los procesos antropogénicos y naturales que podrían estar influyendo en la composición y consecuente contaminación del recurso hídrico. También se llevó a cabo un Análisis por Cluster para comparar con los resultados obtenidos por el análisis Factorial. En base a los métodos de Análisis Multivariados utilizados y teniendo en cuenta la ubicación de las perforaciones, el uso del suelo, el crecimiento poblacional, la falta de saneamiento adecuado, podría inferirse que el deterioro de la calidad del agua por presencia de nitratos estaría relacionado con actividades de carácter antrópico.*

**Palabras claves:** agua subterránea, contaminación, nitratos, análisis multivariados.

## CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL RIO TERCERO O CTALAMOCHITA. EVALUACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN 10 AÑOS

**Marín\*, Graciela N.; Moyano, Silvia A.; Brussa, Daniela B.; Debernardi, Adriana  
y Bergero, Roberto**

Laboratorio de Química y Microbiología.  
Facultad Regional Villa María.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Av. Universidad 450. (5900). Villa María, Córdoba, Argentina.  
[lab\\_quimica@frvm.utn.edu.ar](mailto:lab_quimica@frvm.utn.edu.ar)

**Resumen.** *Las aguas subterráneas representan en la Provincia de Córdoba un recurso natural inapreciable, debido principalmente a que las cuencas profundas de alta mineralización están aisladas del proceso bacteriológico y protegidas de la contaminación resultante de la actividad antrópica que se presenta muy concentrada en los núcleos urbanos. De acuerdo a la geología y según el comportamiento hidrológico del área, se han podido diferenciar una capa libre o freática y tres grandes acuíferos alojados dentro del paquete de sedimentos correspondientes al Cuaternario. El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad del agua de los tres grandes acuíferos alojados dentro del paquete de sedimentos semiconfinados correspondientes a la región de la Cuenca del Río Tercero o Ctalamochita y su tendencia en un período de 10 años. Dicha evaluación fue realizada mediante la determinación de parámetros Físico Químico y microbiológicos del agua proveniente de pozos subterráneos cuya profundidad varía entre los -57 a los -196 metros, situados en la zona de la cuenca del Río Tercero o Ctalamochita. Se utilizaron los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th y 21<sup>ST</sup> Edition, APHA, AWWA, WEF (SMWW). Se concluye que tanto en el aspecto microbiológico como físico químico el agua de pozos pertenecientes a los tres grandes acuíferos semiconfinados, presenta características similares, lo que concuerda con la calidad del agua de los acuíferos semiconfinados del sistema hidrológico correspondiente, evaluados en otros trabajos. Por otro lado, se observa que la concentración media de algunos iones presentes en el primer y segundo confinamiento es superior a los valores hallados para el tercero, al cual puede inferirse una mayor calidad del agua, siendo estas características mantenidas en el período de 10 años en estudio, evaluado en este trabajo.*

**Palabras clave:** Aguas Subterráneas, calidad físico química, calidad microbiológica, Cuenca del Río Tercero.

## EVOLUCIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SURESTE DE LA PLATA (PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

Laurencena<sup>1</sup>, Patricia; Deluchi<sup>1</sup>, Marta; Rojo<sup>1</sup>, Adolfo; Carol<sup>1</sup>, Eleonora; Kruse<sup>1</sup>, Eduardo; Bazán<sup>2</sup>, José Manuel; Alberino<sup>2</sup>, Juan Carlos; Varriano<sup>2</sup>, Nicolás y Cariello<sup>2</sup>, Jorgelina

1: Cátedra de Hidrología  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
Universidad Nacional de La Plata  
60 y 122 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [kruse@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:kruse@fcnym.unlp.edu.ar), [pl Lauren@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:pl Lauren@fcnym.unlp.edu.ar)

2: Grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS) y el Grupo de Estudio del Trabajo y la Producción (GETyP)  
Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
60 y 124 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [ecass@frlp.utn.edu.ar](mailto:ecass@frlp.utn.edu.ar), [varriano@frlp.utn.edu.ar](mailto:varriano@frlp.utn.edu.ar), [cariello@frlp.utn.edu.ar](mailto:cariello@frlp.utn.edu.ar)

**Resumen.** *Las características químicas constituyen un condicionante fundamental para determinar el uso del agua subterránea. En el SE de la ciudad de La Plata existe un sector en el que se produce una competencia de uso del recurso entre consumo humano y riego tanto desde el punto de vista de la cantidad como de la calidad del agua subterránea. El objetivo de este trabajo es analizar la calidad y la evolución química del agua subterránea desde el año 1987 a la actualidad, en dicho sector. La zona de estudio se halla a unos 5 km del ejido urbano, se trata de un ambiente de llanura con suaves ondulaciones, de clima húmedo en donde se distinguen zonas con predominio de infiltración, y zonas favorables para el escurrimiento superficial. Pertenece a la cuenca del Arroyo El Pescado y la principal actividad que se desarrolla se relaciona con la ganadería y agricultura de carácter extensivo. Se observa que la evolución química del agua subterránea está condicionada por los cambios de uso del suelo, por la mayor explotación del recurso hídrico y por el desarrollo económico de la región.*

**Palabras clave:** agua subterránea, calidad química, acuífero freático.

## DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. CARACTERIZACIÓN DE LOS CENTROS URBANOS

Moschione<sup>1,\*</sup>, E., Picco<sup>2</sup>, P., Leiva<sup>2</sup>, S. y Zamora<sup>1</sup>, A.

1: Laboratorio de Análisis  
Centro de Estudios Mar del Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
Buque Pesquero Dorrego 281, 7600 Mar del Plata.  
\* [eleonora@mdp.utn.edu.ar](mailto:eleonora@mdp.utn.edu.ar)

2: Facultad Regional Trenque Lauquen.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Racedo 298, 6400 Trenque Lauquen.

**Resumen.** *El presente proyecto: “Calidad del agua subterránea y gestión del recurso hídrico en el noroeste de la provincia de Buenos Aires”, tiene como finalidad realizar un estudio para conocer la situación actual de la gestión del recurso hídrico en la región y evaluar la calidad del agua subterránea en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, en esta primera etapa se ha realizado una encuesta en los partidos Gral Villegas, Rivadavia, Saliqueló, Trenque Lauquen y Tres Lomas estableciendo dentro de las zonas urbanas: cantidad de habitantes, abastecimiento de agua, tratamiento y tipo de potabilización de aguas, servicio de red cloacal y tratamiento de efluentes, población con y sin agua corriente y cloacas, registro de perforaciones particulares, N° de perforaciones de abastecimiento, profundidad de los pozos, encamisado, equipos de bombeo. Con respecto a los análisis de laboratorio, se relevó cuales efectúan y su periodicidad. Los resultados obtenidos en aquellas localidades que registran datos son los siguientes: Población de 250 a 45.000 habitantes; agua de red (cooperativa, abastecimiento municipal o Aguas Bonarenses SA). El consumo varía desde 3000 a 16000 m<sup>3</sup> diarios, el servicio es pago, la mayoría de las poblaciones realiza cloración, mientras que una localidad aplica osmosis inversa parcial. Las ciudades mas importantes cuentan con red cloacal y realizan tratamiento de efluentes de tipo primario y secundario, otra tiene lagunas de estabilización. El servicio de agua corriente cubre desde el 58 hasta el 100 % de la población, mientras que el de cloacas, del 77 al 100%. No existen registros de perforaciones particulares, mientras que la cantidad de pozos de abastecimiento público va desde 3 hasta 100 con profundidades entre 10 y 63 m, generalmente encamisados y con equipos de bombeo sumergibles. Los controles de laboratorio que se realizan son: concentración de cloro (diario), bacteriológicos (mensual) y físico-químicos (semestrales).*

**Palabras claves:** caracterización localidades, recurso hídrico, noroeste prov. Bs. As.

## ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA OESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA FE.

**Boglione, Rosana; Panigatti, M. Cecilia; Griffa, Carina y Cassina, David**

Facultad Regional Rafaela. Universidad Tecnológica Nacional.  
Bv Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina  
TE: (03492) 432702. FAX: (03492) 432710  
[maria.panigatti@fra.utn.edu.ar](mailto:maria.panigatti@fra.utn.edu.ar)

**Resumen.** *En los últimos años se ha observado una mayor tendencia mundial a aprovechar el recurso hídrico subterráneo, debido a la escasez y contaminación provocada en las aguas superficiales. En función de la importancia que posee el agua subterránea, como fuente de provisión de agua potable y dada la naturaleza heterogénea de la misma, es necesario estudiar las variables fisicoquímicas y bacteriológicas que la caracterizan. En gran parte del sector oeste de la provincia de Santa Fe, las arenas Puelches alojan aguas de alta salinidad, por lo tanto sólo resultan aprovechables las capas superiores, de bajo caudal y calidad variable, existiendo áreas con presencia de arsénico y flúor. El objetivo del trabajo es evaluar la calidad de las aguas subterráneas pertenecientes a la cuenca oeste de la provincia de Santa Fe. Se seleccionaron puntos de muestreo localizados en los departamentos Castellanos, San Martín y San Cristóbal. En cada uno de los puntos, se tomaron muestras de agua y se efectuaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. En general, las muestras no cumplen con algunos de los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino para agua potable, para consumo humano. Con respecto a los parámetros fisicoquímicos, la mayoría poseen elevada salinidad y concentraciones de nitratos superiores a 45 mg/l. Los valores de arsénico encontrados fueron elevados, lo que podría justificarse a que dicho elemento es un contaminante natural, presente en las aguas subterráneas de la zona. Con respecto a los parámetros bacteriológicos, la no potabilidad de las muestras se debió a la presencia de microorganismos como: Bacterias Coliformes Fecales, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa y Enterococos faecalis. La contaminación de las aguas, no sólo se debe a las condiciones naturales de la zona, sino también como consecuencia de la actividad humana, ya sea industrial o agrícola-ganadera.*

**Palabras claves:** agua subterránea, contaminación, microorganismos, arsénico.

## APLICACIÓN CATALÍTICA Y FOTOCATALÍTICA DE ÓXIDOS MIXTOS DE HIERRO Y MCM-41 PARA LA DEGRADACIÓN DE FENÓL EN SOLUCIÓN ACUOSA

Agú<sup>1,2\*</sup>, Ulises A.; Zannier<sup>1</sup>, Mariana P.; Casuscelli<sup>1,2</sup>, Sandra G.  
y Crivello<sup>1</sup>, Mónica E.

1: Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ)  
Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba Capital.  
CP. 5016. <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/citeq>

2: CONICET  
e-mail: [agu@scdt.frc.utn.edu.ar](mailto:agu@scdt.frc.utn.edu.ar)

**Resumen.** *Entre los compuestos orgánicos altamente tóxicos, presentes en aguas contaminadas por la actividad humana, se encuentran el fenol y sus derivados. Una alternativa para la degradación de éstos y otros contaminantes, son los denominados procesos de oxidación avanzada (AOPs). El hecho de poder llevar a cabo AOPs mediante catálisis y fotocatalisis heterogénea permite mejorar la eficiencia de los procesos de oxidación homogéneos, ya que se facilita la separación y recuperación del catalizador sólido para su posterior reutilización. Dentro de los materiales viables a ser utilizados como catalizadores y/o fotocatalizadores heterogéneos, se encuentran los óxidos mixtos modificados de hierro provenientes de hidróxidos de doble capa, y los materiales mesoporosos tipo MCM41. Las propiedades estructurales, superficiales y texturales de los materiales sintetizados serán caracterizadas empleando diversas técnicas físico-químicas. Los sólidos obtenidos, se evaluarán inicialmente en la degradación del fenol (molécula modelo) en solución acuosa vía proceso tipo Fenton. La misma se realizará en un reactor batch de vidrio a presión atmosférica. En cuanto a las reacciones fotocatalíticas, se llevarán a cabo en un reactor batch cilíndrico con recirculación. Para lograr la mayor degradación del fenol, se estudiará el efecto de distintas variables tales como: concentración de contaminante, agua oxigenada, masa de catalizador utilizado, radiación y potencia utilizada, pH del medio, etc. Para seguir el avance de la reacción se determinará la concentración de fenol remanente mediante HPLC con detector UV. Por otro lado, la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se determinará por iodometría. Además, se llevará a cabo la determinación de la DQO mediante el método estándar 5220-D. Con el objeto de obtener los materiales más activos en la degradación, se analizarán los resultados de la caracterización de cada material sintetizado y su evaluación catalítica para, de ser necesario, reformular los sólidos.*

**Palabras clave:** efluentes acuosos, degradación de fenol, fotocatalisis heterogénea, hidróxidos de doble capa, óxidos mixtos de hierro, MCM-41.

## ABATIMIENTO DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS MEDIANTE ARCILLAS NATURALES Y HIERRO CEROVALENTE

Bressan<sup>1\*</sup>, Silvio; Domingo<sup>2</sup>, Esteban; Pelissero<sup>2</sup>, Mario; Meichtry<sup>3</sup>, Jorge M.;  
Reina<sup>3</sup>, Fernando D.; De Seta<sup>2,3</sup>, E. Graciela; Mugrabi<sup>3</sup>, Fernando y Castiglia<sup>3</sup>, Maia D.

1: Dpto. Ing. Civil  
Facultad Regional Buenos Aires  
Universidad Tecnológica Nacional  
Medrano N° 951 – CABA  
e-mail: [civil@civil.frba.utn.edu.ar](mailto:civil@civil.frba.utn.edu.ar) web: <http://www.frba.utn.edu.ar>

2: Dpto. Ing. Civil y UDB-Química  
Facultad Regional Buenos Aires  
Universidad Tecnológica Nacional  
Medrano N° 951 – CABA  
e-mail: [ingedomingo@yahoo.com.ar](mailto:ingedomingo@yahoo.com.ar) , [mapeli@doc.frba.utn.edu.ar](mailto:mapeli@doc.frba.utn.edu.ar) web: <http://www.frba.utn.edu.ar>

3: Dpto. Ing. Química  
Facultad Regional Buenos Aires  
Universidad Tecnológica Nacional  
Medrano N° 951 – CABA  
e-mail: [meichtry@cnea.gov.ar](mailto:meichtry@cnea.gov.ar) web: <http://www.frba.utn.edu.ar>

**Resumen.** *El arsénico es un elemento tóxico de forma independiente a su especiación química, siendo un contaminante geogénico de aguas subterráneas. La ingesta de estas aguas provoca hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), enfermedad manifestada en lesiones de la piel que puede derivar en cáncer; la OMS y el CAA establecen el límite máximo de 0,01 mg/L para arsénico en agua de bebida. En nuestro país afecta especialmente a poblaciones aisladas sin acceso a agua segura, siendo necesario desarrollar tecnologías económicas y simples para su abatimiento. El objetivo de este trabajo es diseñar un proceso de simple uso y mantenimiento sencillo para remoción de arsénico en agua por adsorción con materiales económicos como arcillas y hierro cerovalente ( $Fe^{(0)}$ ). Se realizaron experimentos de remoción de  $As(V)$  con concentraciones variables de adsorbente, determinándose que son necesarios 5 días de reacción 2,5% de arcilla o 0,05% de  $Fe(0)$  para lograr una remoción del 95% ( $[As(V)]_0 = 5$  ppm, pH 7). La cinética de adsorción de  $As(V)$  en arcilla respondió a un comportamiento de tipo biexponencial, lo que podría asociarse a 2 tipos distintos de sitios activos. Del estudio del efecto del pH en la remoción por arcilla ( $5 \leq pH \leq 9$ ) se determinó que hay una mayor remoción a valores ácidos, posiblemente debido a la presencia de compuestos de aluminio como centros de adsorción. La composición química de la arcilla se caracterizó mediante disolución en  $HNO_3$  seguida de determinación elemental por ICP. Para evaluar métodos de disposición final de los residuos sólidos se efectuaron experimentos de desorción de  $As(V)$ , colocando arcilla utilizada en agua durante 7 días; se observó que la desorción es despreciable si el sólido es secado a 100 °C, mientras que en el sólido calcinado a 700 °C la desorción llega hasta el 20% del  $As(V)$  previamente retenido.*

**Palabras clave:** Abatimiento Arsénico, Adsorción, Arcilla, Disposición Final

## REMEDIACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA CONTAMINADA CON BTX Y MTBE MEDIANTE OXIDACIÓN QUÍMICA IN-SITU (ISCO) UTILIZANDO FERRATO.

**Pepino Minetti\*, Roberto C.; Campos, Gastón E.; Pagnan, Mariangeles;  
Macaño, Héctor R. y Britch, Javier**

SIQA (Serv. de Ingeniería Química y Ambiental)  
Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro Marcelo López esq. Av. Cruz Roja Argentina  
Ciudad Universitaria - (X5016ZAA) Córdoba – ARGENTINA  
e-mail: [rpm@quimica.frc.utn.edu.ar](mailto:rpm@quimica.frc.utn.edu.ar), web: [www.siqua.com.ar](http://www.siqua.com.ar)

**Resumen.** *En aquellos sitios contaminados debido a derrames de hidrocarburos es común encontrar que los compuestos con mayor migración en el medio son los BTX (benceno, tolueno y m,p,o-xilenos) y el MTBE (metil terc-butyl éter). Esto se debe a que estos compuestos químicos poseen una baja capacidad de adsorción en el suelo y una elevada solubilidad en agua comparada con los compuestos alifáticos que constituyen la mayoría de un corte comercial de hidrocarburo. La remediación de acuíferos siempre se ha presentado como un proceso dificultoso, oneroso y lento. Además, en aquellas poblaciones que se encuentran alejadas de importantes cursos de agua superficial o lagos, el agua subterránea constituye la única fuente de provisión de agua potable. Un amplio rango de compuestos orgánicos puede ser degradado mediante oxidación química utilizando peróxido de hidrógeno, permanganato, ozono y el emergente persulfato. En este estudio se presenta la potencial aplicación de un nuevo agente oxidante, el ión ferrato ( $\text{FeO}_4^{-2}$ ). En esta primera parte del estudio se realizaron ensayos del tipo batch test tendientes a determinar la evolución temporal de las concentraciones de  $\text{FeO}_4^{-2}$  y BTX+MTBE. Para ello se utilizaron frascos VOA de color ámbar con 40 ml de agua destilada dopada con diferentes relaciones molares de  $(\text{FeO}_4^{-2})/(\text{BTX}+\text{MTBE})$ . Todos los ensayos se realizaron a temperatura ambiente y por triplicado. También se estudió la persistencia del  $\text{FeO}_4^{-2}$  en el medio acuoso. Los análisis de los compuestos orgánicos en agua se realizaron por cromatografía gaseosa con detector de masas utilizando métodos estandarizados, mientras que el ferrato se analizó por espectroscopia ultravioleta-visible debido a que el  $\text{FeO}_4^{-2}$  disuelto posee un espectro característico. Los resultados de esta investigación muestran la potencial aplicación del  $\text{FeO}_4^{-2}$  como agente oxidante de BTX y MTBE a temperatura ambiente y el modelo cinético de degradación.*

**Palabras clave:** ferrato, oxidación química, BTX y MTBE en agua subterránea, Reunión PRODECA.

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA EMPLEADAS EN POTABILIZACIÓN DE AGUA.

**Dominighini<sup>1,\*</sup>, Claudio; Muscia<sup>1</sup>, Lucas; Cataldi<sup>1</sup>, Zulma; Scurati<sup>1</sup>, Carlos;  
Armas<sup>2</sup>, Alberto; Olivero<sup>1</sup>, Marcelo; Gottardo<sup>1</sup>, Marcelo;  
Damiano<sup>1</sup>, Pablo y Di Zeo<sup>1</sup>, Gisele**

1: Facultad Regional Buenos Aires  
Facultad Regional Buenos Aires  
Universidad Tecnológica Nacional  
Medrano N° 951 – CABA

2: Facultad Regional Venado Tuerto  
Universidad Tecnológica Nacional

[cdominighini@frba.utn.edu.ar](mailto:cdominighini@frba.utn.edu.ar); [zcataldi@frba.utn.edu.ar](mailto:zcataldi@frba.utn.edu.ar); [carlosunref@yahoo.com.ar](mailto:carlosunref@yahoo.com.ar);  
[albertoarmas@gmail.com](mailto:albertoarmas@gmail.com); [olivero@michelthierry.com.ar](mailto:olivero@michelthierry.com.ar)

**.Resumen.** *Se realizó un estudio sobre la tecnología de potabilización de agua para consumo humano por el método de ósmosis inversa. Uno de los objetivos principales del proyecto es analizar física y químicamente las membranas de ósmosis inversa para tratar aguas subterráneas con alto contenido de arsénico, principalmente en la zona del sur de Santa Fe, en la cual este alto contenido de arsénico provoca una enfermedad conocida como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACER). Mediante los análisis que se realizaron a las muestras de la membrana de ósmosis inversa, pudimos revelar alguna de las propiedades y forma de las fibras y tejidos que constituyen el conjunto de la columna de ósmosis inversa. Uno de los principales problemas fue que la capa de la membrana propiamente dicha, no tiene una estructura geométrica definida y repetitiva, al contrario, es una estructura de largas fibras entrelazadas, las cuales, al no estar uniformemente distribuidas, se hace imposible determinar una secuencia geométrica estructural, no pudiendo determinar el diámetro de poro de dicha membrana. En los próximos estudios se buscarán análisis para determinación de porosidad en sólidos que sean viables para el cálculo en la porosidad en la membrana semipermeable.*

**Palabras Clave:** Membranas, ósmosis, inversa, potabilización, hidroarsenicismo

## SÍNTESIS DE SILICATOS MESOPOROSOS MCM-41 PARA LA DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CONTAMINANTES EN SOLUCIÓN ACUOSA.

Elías<sup>1,2\*</sup>, Verónica R.; Sabre<sup>1</sup>, Ema V.; Ortiz<sup>1</sup>, Liliana E.; Casuscelli<sup>1,2</sup>, Sandra G. y Eimer<sup>1,2</sup>, Griselda A.

1: Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ), Facultad Regional Córdoba  
Universidad Tecnológica Nacional  
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba Capital.  
CP. 5016. <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/citeq>  
e-mail: [velias@scdt.frc.utn.edu.ar](mailto:velias@scdt.frc.utn.edu.ar)

2: CONICET

**Resumen.** Los contaminantes emitidos de diferentes fuentes representan severos problemas ecológicos debido a que resisten a los tratamientos de biodegradación convencionales los cuales en general son ineficaces o incompatibles desde el punto de vista medioambiental. Para resolver estos inconvenientes, en las últimas décadas han surgido los conocidos "Procesos de Oxidación Avanzados" dentro de los cuales la Fotocatálisis Heterogénea surge como un método más atractivo que los tratamientos convencionales para el tratamiento de compuestos tóxicos presentes en efluentes acuosos. Este proceso se basa en la irradiación de un material semiconductor permitiendo la generación de sitios redox en la superficie del mismo y la consecuente formación de radicales (OH)<sup>-</sup> responsables de la degradación de los contaminantes orgánicos. El objetivo de este trabajo es sintetizar silicatos mesoporosos del tipo MCM-41 y modificarlos con dos metales de transición (Cr, Ti). Los materiales fueron caracterizados por: DRX, UVvis-RD, Fisisorción de N<sub>2</sub> y FRX. La foto-actividad de los materiales fue evaluada en la foto-degradación bajo radiación UVvis y solo visible del colorante Acido Naranja 7 (AO7) en solución acuosa. Mediante espectroscopia de UVvis, utilizando el catalizador más activo, se realizó un análisis de los productos de degradación en función del tiempo de irradiación. Por otro lado se estudió de la influencia del O<sub>2</sub> en la degradación de AO7 haciendo corridas con flujo de N<sub>2</sub>, encontrándose en este caso, menores degradaciones que en las reacciones llevadas a cabo bajo flujo de aire. Para determinar que especie de Cr (Cr<sup>6+</sup> o Cr<sup>3+</sup>) es la activa en el proceso foto-catalítico, se hicieron corridas utilizando el catalizador calcinado y el mismo catalizador luego de un tratamiento de reducción con flujo de H<sub>2</sub>. Se encontró que el material reducido presentó bajas degradaciones y esto se asignó a la mayor presencia de Cr<sup>3+</sup>, permitiendo así confirmar que la especie activa es el Cr<sup>6+</sup>.

**Palabras clave:** Efluentes acuosos, Degradación AO7, Fotocatálisis Heterogénea, Síntesis de materiales, MCM-41.

## COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DEL NÚMERO MÁS PROBABLE Y FILTRACIÓN DE MEMBRANA PARA ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

Moyano, Silvia A.; Marín, Graciela N. y Pegoraro, Lidia E.

Laboratorio de Química y Microbiología.  
Facultad Regional Villa María.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Av. Universidad 450. (5900). Villa María, Córdoba, Argentina.  
[lab\\_quimica@frvm.utn.edu.ar](mailto:lab_quimica@frvm.utn.edu.ar)

**Resumen** *La prueba estándar para el grupo coliformes en muestras de agua puede realizarse mediante las técnicas de fermentación en tubos múltiples o de filtro de membrana. Son aplicables estos dos métodos teniendo en cuenta sus limitaciones específicas y el propósito del estudio. La de filtro de membrana, que implica una siembra directa para la determinación de coliformes, es tan eficaz para su detección como la fermentación en tubos múltiples (Standard Methods for The Examination of Water and Wasterwater). Las Normas ISO 9308-1 y 7899-2:2000 establecen el uso de las técnicas de filtración para Coliformes totales y E.coli, y Enterococos intestinales respectivamente. El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio comparativo de los ensayos microbiológicos de muestras de agua realizadas con las técnicas del número más probable y de filtración, teniendo en cuenta la reproducibilidad y la sensibilidad de ambos métodos. Se utilizaron técnicas las indicadas por el SMEWW, 21<sup>th</sup> 2005 para el número más probable y tubos múltiples, y las Normas ISO-9308-1 y 7899-2:2000 para los métodos de filtración. Se realizó una evaluación de desempeño analizando muestras de agua de pozo, de red y preparadas con distintos niveles de contaminación inoculadas con bacterias tipificadas. Los resultados obtenidos mostraron que no se presentan diferencias significativas, tanto en la determinación de coliformes totales y E.coli, como también de Enterococos intestinales. En relación al tiempo de análisis y a los costos de materiales, fueron superiores en las del número más probable en aquellos casos en que las muestras analizadas fueron de agua potable o con un bajo grado de contaminación. Se concluyó que tanto las técnicas de filtración y del número más probable son similarmente sensibles y reproducibles, estando las ventajas de su aplicación determinadas por limitaciones específicas de cada una y el grado de contaminación de la muestra.*

**Palabras clave:** Agua de red, calidad físico química, calidad microbiológica, monitoreo.

## **POTENCIAL CONTAMINACIÓN CAUSADA POR PILAS Y BATERÍAS ENTERRADAS, SOBRE AGUAS SUPERFICIALES Y NAPAS FREÁTICAS**

**Luján, Juan Carlos**

Facultad Regional Tucumán  
Universidad Tecnológica Nacional,  
Rivadavia 1.050 (4000) Tucumán – República Argentina  
e-mail: [jclujan53@yahoo.com.ar](mailto:jclujan53@yahoo.com.ar)

**Resumen.** *Se realiza un balance másico de Oxígeno Disuelto en el agua del Río Salí de Tucumán, tomando valores de DBO y caudales de diferentes vuelcos y se los contrasta contra los caudales medios anuales y el oxígeno disuelto de saturación, para conocer la disponibilidad de este vital elemento, luego se lo contrasta con las múltiples demandas de oxígeno que se generan durante el período de máxima actividad industrial, comprendido entre Julio y Noviembre de cada año, coincidente con la merma de las precipitaciones pluviales y la consecuente reducción de caudales de la red hidrológica. También se pronostica el colapso como presa Hidráulica del Embalse de Río Hondo estimado para la segunda mitad de este siglo. El resultado de estos cálculos, indica que Tucumán con su parque industrial y sus vertidos cloacales urbanos, posee una población equivalente total de 7,5 millones de habitantes, esto produce un déficit de oxígeno en la cuenca de un 857%, lo cual constituye un panorama muy preocupante si se tiene en cuenta el advenimiento de la era de los biocombustibles con la fabricación de los carburantesalconafta y biodiesel, cuya fabricación agravará notablemente la situación actual de agotamiento ambiental, con los vertidos de mayores volúmenes de vinaza y glicerol alcalino provenientes de la elaboración de estas nuevas fuentes de energía, a menos que se encuentren alternativas microbiológicas que resulten económicamente viables y muy eficientes, para resolver el problema de las descargas líquidas de residuos orgánicos agroindustriales demandantes de oxígeno disuelto en las aguas*

**Palabras clave:** Pilas, contaminación, lixiviados, metales pesados, mercurio, cadmio, níquel.

## INFLUENCIA DEL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE RAFAELA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

**Panigatti, María Cecilia; Boglione, Rosana; Griffa, Carina;  
Cassina, David y Schierano, Celeste**

Facultad Regional Rafaela. Universidad Tecnológica Nacional.

Bv Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina

TE: (03492) 432702. FAX: (03492) 432710

e-mail: [maria.panigatti@frra.utn.edu.ar](mailto:maria.panigatti@frra.utn.edu.ar), [rboglione@gmail.com](mailto:rboglione@gmail.com), [carinagriffa@yahoo.com](mailto:carinagriffa@yahoo.com),  
[davidcassina@yahoo.com.ar](mailto:davidcassina@yahoo.com.ar), [celeste\\_schierano@hotmail.com](mailto:celeste_schierano@hotmail.com)

web: <http://ntics.frra.utn.edu.ar/portal/>

**Resumen.** *El crecimiento urbano, el desarrollo tecnológico y los nuevos hábitos de consumo, incrementaron los residuos producidos en los últimos tiempos. En búsqueda de soluciones orientadas a paliar esta problemática, una alternativa es disponerlos en rellenos sanitarios (RS). Esta práctica es adoptada por la Municipalidad de Rafaela desde julio de 2003. El objetivo del trabajo, es evaluar la influencia del Relleno Sanitario en la calidad de las aguas subterráneas aledañas al predio. En la Planta de Tratamiento y Disposición final de Residuos se reciben, en forma diferenciada: material orgánico, material reciclable y residuos verdes. Para estudiar la influencia del predio en las aguas subterráneas se realizaron 3 pozos de monitoreo aguas arriba y 4 aguas abajo. La toma de muestra se efectuó semestralmente, comenzando en el año 2000, previo al funcionamiento del RS. En todos los casos se caracterizaron fisicoquímicamente las aguas en los pozos mencionados. Los valores de pH no variaron significativamente, en ninguno de los pozos, después del inicio del RS. En algunos parámetros analizados, como conductividad, dureza, cloruros, sulfatos y arsénico se observaron aumentos de concentraciones tanto aguas arribas como abajo. No se puede atribuir la influencia del RS en la contaminación del agua subterránea, sino que la variabilidad corresponde a las características de la misma en la región. El contenido de nitrógeno total y DBO aumenta luego del inicio de las actividades, lo que podría deberse a la carga orgánica de los residuos verdes depositados fuera de la celda y la contaminación proveniente de la ciudad. En ninguno de los pozos se encontró la presencia de cadmio, cinc, cobre, mercurio, níquel, plomo y cromo. Esto se atribuiría fundamentalmente al sistema de impermeabilización que poseen las celdas. No se observa una importante contaminación de las aguas subterráneas como consecuencia de la actividad del RS.*

**Palabras claves:** relleno sanitario, agua subterránea, contaminación.

## ESTUDIO DE LOS SEDIMENTOS EN EL TRAMO RECTIFICADO DEL ARROYO SARANDÍ Y DETERMINACIÓN DE LA PLUMA EN EL RÍO DE LA PLATA

**Naser, María del Carmen; Speltini, Cristina; Coppo, Gabriela;  
Machalec, Jorge y Sanchez, Carlos**

Departamento de Ingeniería Química  
Facultad Regional Avellaneda  
Universidad Tecnológica Nacional

mnaser@fra.utn.edu.ar; [cspeltini@fra.utn.edu.ar](mailto:cspeltini@fra.utn.edu.ar); [jmachalec@fra.utn.edu.ar](mailto:jmachalec@fra.utn.edu.ar)

**Resumen.** *Los metales pesados constituyen uno de los contaminantes más importantes en el medio ambiente debido a su elevada persistencia y toxicidad. Las contribuciones antropogénicas de metales traza en el estuario del río de La Plata y sedimentos costeros y marinos son introducidas a través de las aguas de escurrimiento de sus diferentes afluentes. Entre ellos, se encuentra el arroyo Sarandí, de origen pluvial que recibe drenajes pluviales y urbanos del partido de Avellaneda y desechos industriales clandestinos en gran parte de su recorrido. El objetivo de la presente investigación es caracterizar la situación de los sedimentos en el curso hídrico receptor del arroyo de forma de identificar las eventuales fuentes de contaminación. Es importante resaltar que la Agencia de Protección Ambiental EPA considera a los sedimentos como los contaminantes más comunes de ríos y arroyos. Para el análisis de sedimento se utiliza un Set Muestreador de Sedimentos "Multisampler", de origen holandés que permite extraer muestras indisturbadas, manteniendo la estratificación original de las diferentes capas que lo componen. Posee un tubo de muestreo de acrílico transparente, pistón de goma NBR y acero inoxidable que permite un chequeo visual inmediato de la muestra. Es operado a varilla y permite realizar muestreos de hasta 5 m de profundidad. Se evalúa la presencia y efectos de los metales pesados en las zonas a cielo abierto del arroyo y en su desembocadura en el río de La Plata. Se estudia la distribución vertical y horizontal de los metales traza en sedimentos y su posible relación con las actividades petroleras o de tratamiento de metales. Se informan los resultados obtenidos de los análisis realizados durante el año 2011.*

**Palabras claves:** sedimentos, contaminación, metales pesados, metales biodisponibles.

## ESTUDIO HIDROLOGICO Y CALIDAD DE AGUA DE LAS CUENCAS DEL ARROYO EL PESCADO Y DEL GATO EN LOS PARTIDOS DE LA PLATA, BERISSO Y ENSENADA

Bazán<sup>1</sup>, José Manuel; Alberino<sup>1</sup>, Juan Carlos; Varriano<sup>1</sup>, Nicolás;  
Cariello<sup>1</sup>, Jorgelina; Kruse<sup>2</sup>, Eduardo; Rojo<sup>2</sup>, Adolfo;  
Deluchi<sup>2</sup>, Marta y Laurencena<sup>2</sup>, Patricia

1: Grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS) y el Grupo de Estudio del Trabajo y la Producción (GETyP)  
Facultad Regional La Plata  
Universidad Tecnológica Nacional  
60 y 124 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [ecass@frlp.utn.edu.ar](mailto:ecass@frlp.utn.edu.ar), [varriano@frlp.utn.edu.ar](mailto:varriano@frlp.utn.edu.ar), [cariello@frlp.utn.edu.ar](mailto:cariello@frlp.utn.edu.ar)

2: Cátedra de Hidrología  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
Universidad Nacional de La Plata  
60 y 122 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [kruse@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:kruse@fcnym.unlp.edu.ar), [pl Lauren@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:pl Lauren@fcnym.unlp.edu.ar)

**Resumen.** *El conocimiento de las características químicas de las aguas subterráneas y superficiales en las cuencas de los arroyos El Pescado y Del Gato es irregular y parcializado, lo cual implica una gran incertidumbre cuando se desea conocer la calidad química actual de las aguas, como una base ambiental imprescindible no solo desde un punto de vista del abastecimiento sino también en relación a distintos emprendimientos productivos que se desarrollan en la región. La Cátedra de Hidrología General de la FCNM tiene instalada una red de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales, realizando relevamientos periódicos en la región bajo estudio. El grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS) y el Grupo de Estudio del Trabajo y la Producción (GETyP) de la FRLP cuentan con capacidad para realizar determinaciones fisicoquímicas en agua y sedimentos. Entre ambas facultades se lleva a cabo un programa de investigación relacionada con la hidroquímica de las cuencas y un control integral y continuo de la evolución de la calidad de agua para distintos usos. El objetivo general es actualizar el conocimiento fisicoquímico del agua subterránea y superficial de la cuenca del Arroyo El Pescado, lo mismo para la cuenca del Arroyo Del Gato, basados en información preliminar y actualizada. Se efectuaron análisis fisicoquímicos de sedimentos. Se reconocieron las modificaciones al medio natural, por la influencia antrópica, comparando ambas cuencas. Como agregado del proyecto se espera establecer pautas de gestión que permitan el uso del recurso que tiendan a evitar su degradación. Se pretende que los resultados obtenidos se extrapolen a regiones de comportamientos similares.*

**Palabras clave:** hidrología, arroyo El Pescado, arroyo Del Gato, indicadores de influencia

## EL ARROYO SARANDÍ: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

**Speltini, Cristina; Naser, María del Carmen; Coppo, Gabriela; Machalec, Jorge;  
Sanchez, Carlos y Alonso, Atilio**

Departamento de Ingeniería Química  
Facultad Regional Avellaneda  
Universidad Tecnológica Nacional

[cspeltini@fra.utn.edu.ar](mailto:cspeltini@fra.utn.edu.ar); [mnaser@fra.utn.edu.ar](mailto:mnaser@fra.utn.edu.ar); [jmachalec@fra.utn.edu.ar](mailto:jmachalec@fra.utn.edu.ar)

**Resumen:** *La cuenca del arroyo Sarandí, de origen pluvial, se extiende desde la localidad de Longchamps hasta el Río de La Plata en la Provincia de Buenos Aires. El 80 % de su recorrido está entubado y desde su cruce con las vías del Ferrocarril General Roca, en la localidad de Sarandí, hasta su desembocadura, se encuentra rectificado y a cielo abierto. En este sector, el arroyo atraviesa dos escenarios característicos; en su margen norte se encuentra próximo al polo petroquímico Dock Sud mientras que en su margen sur se hallan viñedos artesanales costeros y selva en galería. Los objetivos del presente trabajo son: diagnosticar el estado ambiental de las aguas del arroyo, en el tramo a cielo abierto e identificar y analizar la evolución de la biodiversidad en un ambiente altamente comprometido desde el punto de vista ambiental. Se realizaron nueve campañas mensuales de monitoreo de la calidad de las aguas del arroyo en tres sectores de su cauce a cielo abierto, identificando los contaminantes crítico. El monitoreo se complementó con estudios del perfil del cauce del arroyo y de la variación de su caudal, mediante corridas de flotadores. Se analizó el agua de napa y la identificación macroscópica de especies, recuento de poblaciones, recolección de plancton y benton para identificación de moneras, fungis, ciliados, amebas, etc Los análisis muestran la crítica situación ambiental de las aguas del arroyo así como las variaciones temporales y espaciales de sus contaminantes. Las aguas subterráneas revelan la presencia de metales pesados cuyas concentraciones, en algunos casos, se encuentran por encima de los valores permitidos para agua potable. El estudio de biodiversidad pone de relieve la casi inexistencia de macroflora y macrofauna acuática producto de la contaminación del curso de agua, no así de microorganismos planctónicos, bentónicos y propios del parafiton.*

**Palabras claves:** estado ambiental, contaminantes, biodiversidad, producciones artesanales.

## MONITOREO DEL AGUA DE RED DE LA CIUDAD DE VILLA MARÍA EN 10 AÑOS.

Marín\*, Graciela N. ; Moyano, Silvia A.; Pegoraro, Lidia E.; Pussetto, Evangelina;  
Brussa, Daniela B. y Debernardi, Adriana

Laboratorio de Química y Microbiología.  
Facultad Regional Villa María.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Av. Universidad 450. (5900). Villa María, Córdoba, Argentina.  
[lab\\_quimica@frvm.utn.edu.ar](mailto:lab_quimica@frvm.utn.edu.ar)

**Resumen.** *La ciudad de Villa María está inserta en la Región centro-oriental de la provincia de Córdoba, República Argentina y es cabecera del Departamento General San Martín. La provisión de agua potable es realizada por la Cooperativa 15 de Mayo y proviene de pozos subterráneos. El control de la calidad de la misma es responsabilidad de la entidad abastecedora, encargada de verificar si el suministro cumple con los valores límite que señalan las normas vigentes y ejecutar las acciones correctivas que sean necesarias. La implementación de un programa de monitoreo y control de la calidad del agua es un factor fundamental en la prevención de enfermedades de origen hídrico, permitiendo además obtener información sobre la real situación del abastecimiento, priorizar las inversiones y mejorar la calidad del servicio. La calidad del agua potable se expresa a través de límites permisibles (normas o estándares) atribuidos a los distintos parámetros, cuya comparación con los valores medidos determina si el agua es potable. El objetivo de este trabajo fue realizar la evaluación de los datos obtenidos del monitoreo sistemático que se realiza sobre la red de provisión de agua potable, tanto en el aspecto microbiológico como físico químico según la Legislación vigente, buscando tendencias o variaciones en un período de 10 años. Para ello se utilizaron los datos del muestreo correspondiente al programa de control que lleva a cabo dicha Cooperativa. Se utilizaron los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th y 21<sup>ST</sup> Edition, APHA, AWWA, WEF (SMWW). Se concluye que el agua de la red de provisión de la Ciudad de Villa María presenta valores que se encuentran en su mayoría por debajo de los límites tolerables o que impliquen problemas para la salud de la población, establecidos por la legislación vigente, durante el período evaluado de 10 años. Teniendo en cuenta que en la provisión al usuario se realiza una mezcla de aguas de distintos pozos de provisión, las variaciones en los resultados de los distintos parámetros pueden atribuirse a los distintos caudales de aporte de los pozos en funcionamiento. Además, dada la calidad bacteriológica inicial del agua, bastaría con mantener un nivel de cloro mínimo inicial (establecido por la legislación vigente) para evitar el desarrollo de microorganismos.*

**Palabras clave:** Agua de red, calidad físico química, calidad microbiológica, monitoreo.

## CIUDADES COSTERAS DE INTERÉS TURÍSTICO Y SU VINCULACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO. CASO PEHUEN-CO

Sartor\*, Aloma S. y González, Mariana V.

Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de Abril 461 - B8000LMI - Bahía Blanca  
e-mail: [asartor@frbb.utn.edu.ar](mailto:asartor@frbb.utn.edu.ar); [mgonzal@frbb.utn.edu.ar](mailto:mgonzal@frbb.utn.edu.ar)  
web: [www.frbb.utn.edu.ar](http://www.frbb.utn.edu.ar)

**Resumen.** *Los recursos hídricos constituyen un factor limitante para el desarrollo urbano, su gestión en los asentamientos turísticos costeros presenta características específicas, como son una carga antrópica fuertemente concentrada con picos de demanda estacional de los servicios de agua y de los efluentes cloacales. En este trabajo se plantea la problemática relacionada con el desarrollo urbano de la villa balnearia Pehuén-có y su vinculación con la gestión del recurso hídrico. Esta villa balnearia, de reciente conformación, muestra una actividad turística en franco crecimiento; ello implica un incremento constante de población estable y turística, que pone en evidencia su desajuste con la infraestructura sanitaria, manifestándose problemas, tanto para el abastecimiento, como para la disposición de efluentes líquidos. Respecto de la modalidad actual de gestión, la villa se encuentra en la transición entre la utilización de un sistema individual estático (tanto para el abastecimiento como para la disposición de los efluentes domiciliarios) al desarrollo de un proyecto de implementación de sistema centralizado de abastecimiento de agua potable. La actual condición pone en riesgo la sustentabilidad del propio recurso, planteando límites a la densidad y desarrollo urbano de la localidad, en tanto que el escenario futuro genera la necesidad de incorporar el sistema centralizado de abastecimiento bajo una perspectiva de Gestión Integrada de Recursos Hídricos a fin de asegurar su sustentabilidad. Dada esta situación, se propone en el presente trabajo analizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que este proyecto presenta, en relación a construir la gobernabilidad del agua desde una perspectiva GIRH. Para esto se identifican los problemas actuales inherentes a la gestión del recurso y se identifican los potenciales, relacionando ambas modalidades de gestión con las actividades productivas, aspectos culturales y condiciones ambientales y sociales del lugar.*

**Palabras clave:** gestión, planificación, recurso hídrico, ciudades costeras, turismo, Pehuencó

## CONCENTRACION DE NITRATOS EN AGUAS NATURALES

**Bazán, José Manuel; Alberino, Juan Carlos y Batistessa, Gastón**

Grupo Evaluación de Calidad de Aire, Agua, Suelos y Sedimentos (ECAASS) –  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional La Plata  
60 y 124 La Plata, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [ecass@frlp.utn.edu.ar](mailto:ecass@frlp.utn.edu.ar)

**Resumen:** *El anión nitrato ( $NO_3^-$ ) está siempre presente en aguas naturales, asociado frecuentemente a otros iones como nitrito ( $NO_2^-$ ) y amonio ( $NH_4$ ). Las fuentes naturales son: de la atmósfera y la degradación de la materia orgánica nitrogenada, a estas fuentes se le adiciona la influencia antrópica. Este último aporte trae como consecuencia el aumento de la concentración en aguas que se utilizan como fuente de agua potable, con incidencia nociva para la salud. Los métodos analíticos empleados por el ECAASS son; reducción en columna cadmio- cobre, electrodo selectivo y espectrofotometría UV. Se describe cada método con su fundamento y se mencionan las ventajas e inconvenientes de cada uno. Se muestran resultados obtenidos en aguas naturales de distinta procedencia. Uno de los casos estudiados corresponde a las aguas de consumo en una zona cercana a La Plata (prov. De Buenos Aires) de distinto suministro (red o pozo domiciliario). Otro estudio efectuado en el Gran La Plata durante los años 1997 y 2008 permitió comparar las concentraciones de nitratos en agua de red donde se comprueba un aumento del mismo en el agua potabilizada del río de La Plata.*

**Palabras clave:** Nitratos, método, calidad de agua

## **BALANCE NEGATIVO DEL OXIGENO DISUELTO DEL RÍO SALÍ DURANTE EL PERÍODO DE ZAFRA AZUCARERA**

**Luján, Juan Carlos**

Facultad Regional Tucumán. Universidad Tecnológica Nacional.  
Rivadavia 1050. S. M. de Tucumán. Argentina  
TE: (0381) 4321194.  
[jclujan53@yahoo.com.ar](mailto:jclujan53@yahoo.com.ar)

**Resumen.** *Se realiza un balance másico del oxígeno disuelto en el agua del Río Salí de Tucumán, tomando valores de DBO y caudales de diferentes vuelcos y se los contrasta contra los caudales medios anuales y el oxígeno disuelto de saturación, para conocer la disponibilidad de este vital elemento, luego se lo contrasta con las múltiples demandas de oxígeno que se generan durante el período de máxima actividad industrial, comprendido entre julio y noviembre de cada año, coincidente con la merma de las precipitaciones pluviales y la consecuente reducción de caudales de la red hidrológica. También se pronostica el colapso como presa hidráulica del embalse de Río Hondo estimado para la segunda mitad de este siglo. El resultado de estos cálculos, indica que Tucumán con su parque industrial y sus vertidos cloacales urbanos, posee una población equivalente total de 7,5 millones de habitantes, esto produce un déficit de oxígeno en la cuenca de un 857%, lo cual constituye un panorama muy preocupante si se tiene en cuenta el advenimiento de la era de los biocombustibles con la fabricación de los carburantesalconafta y biodiesel, cuya fabricación agravará notablemente la situación actual de agotamiento ambiental, con los vertidos de mayores volúmenes de vinaza y glicerol alcalino provenientes de la elaboración de estas nuevas fuentes de energía, a menos que se encuentren alternativas microbiológicas que resulten económicamente viables y muy eficientes, para resolver el problema de las descargas líquidas de residuos orgánicos agroindustriales demandantes de oxígeno disuelto en las aguas.*

**Palabras claves:** Oxígeno disuelto, Déficit, Agotamiento, Anoxia, Población Equivalente.

## **CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA LOS LIRIOS - CHACO**

**Hervot, Elsa\*; Roshdestwensky, Sergio; Farías, Alejandro; Tenev, María Daniela;  
Utgés, Enrique; Utgés, Enid y Prieto, Laura**

Grupo de Investigación y Servicios a Terceros en el Area Química.  
Facultad Regional Resistencia  
Universidad Tecnológica Nacional  
French 414, primer piso. 3500 Resistencia. Chaco.  
[gistaq@frre.utn.edu.ar](mailto:gistaq@frre.utn.edu.ar)

**Resumen.** *En las ciudades de Resistencia y Barraqueras han quedado una serie de lagunas, ex meandros del Río Negro, entre las cuales podemos citar las lagunas Argüello, Los Lirios y Prosperidad. Estos reservorios cumplen una importante función durante lluvias muy copiosas, actuando como receptores de gran cantidad de agua y posteriormente drenándola lentamente y reteniendo el excedente. En tres proyectos se pretende valorar estos cuerpos de agua con la evaluación de su naturaleza química, física y biológica, en relación con la calidad a través del índice de Calidad del Agua (ICA). Detectar el grado de contaminación permitirá establecer estrategias que permitan planificar el manejo de los recursos hídricos. Se estudian variables físico-químicas y bacteriológicas indicadoras del grado de contaminación del agua de la Laguna Los Lirios, mediante un seguimiento sistematizado durante casi tres años (finaliza en diciembre de 2012). Se realizó un estudio geomorfológico de la Laguna y se definieron los puntos y la frecuencia de los muestreos. Este es un cuerpo de agua extenso, de forma irregular y de poca profundidad. Los seis puntos de muestreo seleccionados se fijaron en función de un análisis integral de Estado medio ambiental de la Laguna. Alguno de los puntos se ubicaron de forma de poder realizar un monitoreo de las descargas fluviales. Para el análisis de los distintos parámetros físico químicos se utilizaron métodos normalizados. (Standard Methods, APHA, AWWA, WPCF, Edición en español, Madrid, 1992). Con los primeros datos obtenidos se realizaron correlaciones importantes que avalan juicios de valor sobre el estado de contaminación. Se seleccionaron los parámetros indispensables para la determinación del ICA. Los valores de dicho índice obtenidos dan entre 35 y 55, que indican que la fuente sólo podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento, según la propuesta de Brown.*

**Palabras clave:** Agua - Laguna - Contaminación - ICA

## CALIDAD DE AGUA DE RECREACIÓN DEL RÍO PARANÁ DE LAS PALMAS

**Elorriaga, Marisol\*; Varanese, Cristina y Romano, Georgina Alejandra**

Laboratorio Químico - Centro de Investigación y Desarrollo en Energía y Ambiente.  
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta.  
San Martín 1171. Campana, Buenos Aires, Argentina.  
[melorriaga@frd.utn.edu.ar](mailto:melorriaga@frd.utn.edu.ar); [cvaranese@frd.utn.edu.ar](mailto:cvaranese@frd.utn.edu.ar); [georginaromano88@gmail.com](mailto:georginaromano88@gmail.com)

**Resumen:** *En la ciudad de Campana, ubicada a orillas del Río Paraná de Las Palmas, el uso del agua para el desarrollo de diferentes actividades recreativas ocupa un lugar importante, resultando una oferta turística de notable valor. Sin embargo se conoce que existen vuelcos contaminantes sobre este río en distintos puntos de su recorrido debido a las industrias ubicadas en la orilla del mismo como así también las descargas de las plantas de tratamiento de residuos cloacales. El presente trabajo aborda como tareas: establecer el impacto de la carga de contaminantes debido al vuelco de los efluentes industriales y cloacales en la zona de estudio y analizar la situación legal a nivel local, provincial y nacional para aguas de recreación. Para ello se realizó un relevamiento de la información de los vuelcos industriales y cloacales mediante encuestas a las industrias de la zona y a los organismos públicos involucrados, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, modelado de datos y plumas de contaminación. Se utilizó el modelo para evaluar, independientemente, el impacto de las descargas industriales y cloacales. El modelo indica que, en la zona de estudio, el impacto se concentra en los primeros 50 a 100 m desde la costa, y que existen dos zonas de máximo impacto con un aumento local de concentraciones en estas zonas pero con un decaimiento suave aguas abajo trasladándose potencialmente el impacto más allá de la zona estudiada. Del análisis de la situación legal para aguas de recreación se concluye que existe un vacío legal, por lo cual se realizará una presentación ante el Consejo Deliberante de la ciudad con el trabajo y las conclusiones obtenidas para que el tema sea tratado y se logre remediar la falta de legislación existente, tratando de establecer una reglamentación que exija realizar los estudios de calidad de agua de recreación en los lugares que son, o puedan ser, utilizados para tal fin.*

**Palabras claves:** Río Paraná de las Palmas, calidad de agua, efluentes, contaminación, legislación.

## CONTROL ÓPTIMO DE CANALES DE RIEGO MEDIANTE UNA TÉCNICA ESTOCÁSTICA DE OPTIMIZACIÓN GLOBAL

Martorana<sup>1\*</sup>, Julia V. y Cortínez<sup>1,2</sup>, Víctor H.

1: Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de Abril 461, 8000, Bahía Blanca  
e-mail: [jmartorana@gmail.com](mailto:jmartorana@gmail.com)

2: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)  
Rivadavia 1917, 1033, Capital Federal  
e-mail: [vcortine@frbb.utn.edu.ar](mailto:vcortine@frbb.utn.edu.ar)

**Resumen.** *La simulación computacional basada en un modelo hidrodinámico adecuado, se ha convertido en una técnica de gran ayuda para establecer la estrategia de operaciones de compuertas de un canal de riego. De esta manera se evitan importantes pérdidas de agua y sus efectos colaterales (salinización de suelos, rotura de canales, falta de agua en alguna toma y exceso en otras, etc.). Para el control de canales, es posible formular matemáticamente los objetivos perseguidos en la distribución del agua (que en general se relaciona con el mantenimiento de niveles constantes en ciertos puntos del canal), así como sus restricciones físicas. Luego utilizando los modelos hidrodinámicos se analizan diferentes escenarios de operación a fin de seleccionar las estrategias que más se acerquen al cumplimiento de los objetivos establecidos. Sin embargo, resulta difícil definir la operación óptima mediante este proceso intuitivo de prueba y error. La tendencia actual para facilitar tal diseño de operaciones, es la utilización conjunta de un modelo hidrodinámico con una técnica adecuada de optimización dinámica. El problema de control de canales formulado corresponde en general, tanto para control manual como para control automático, a un problema de optimización dinámica que en principio tiene como finalidad establecer los controles, en este caso, los movimientos de compuertas, como una función del tiempo en pos de cumplir los objetivos estipulados. En este trabajo se propone una metodología basada en la utilización conjunta de un simulador de las ecuaciones de Saint Venant con un método de optimización estocástica denominado “Método de Recocido Simulado”. A partir de tal metodología se plantea el control óptimo de compuertas de canales de riego. Se muestra que tal metodología resulta precisa y a la vez eficiente desde el punto de vista computacional. Se discuten las ventajas de utilizar un esquema de control óptimo para el diseño de operaciones de riego comparadas con esquemas clásicos.*

**Palabras claves:** Canales, Control, Optimización, Compuertas.

## UN MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN EN CUERPOS DE AGUAS POCO PROFUNDAS

Stoklas<sup>1</sup>, Cecilia I. y Cortínez<sup>1,2</sup>, Víctor H.

1: Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada (CIMTA)  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional, C.P. B8000LMI  
e-mail: [stoklas@frbb.utn.edu.ar](mailto:stoklas@frbb.utn.edu.ar)

2: CONICET  
e-mail: [vcortine@frbb.utn.edu.ar](mailto:vcortine@frbb.utn.edu.ar)

**Resumen.** *El vertido de aguas residuales urbanas en cuerpos de agua, tales como ríos o lagos, es una situación seria de contaminación ambiental. En tal sentido se hace necesaria la construcción de plantas de tratamiento de efluentes urbanos, adecuadamente diseñadas a los efectos de controlar tal situación. En el presente trabajo se propone un método de diseño óptimo para la determinación de la localización de la salida de la tubería de los efluentes urbanos tratados en plantas de depuración, así como el grado de tratamiento necesario para garantizar un nivel de contaminación tolerable en las zonas protegidas de resguardo ambiental tales como playas, zonas de pesca, etc., buscando simultáneamente minimizar el correspondiente costo económico. La presente formulación se basa en una solución por elementos finitos del problema hidrodinámico para establecer el régimen de corrientes. Luego se emplea el modelo adjunto al problema de transporte de contaminantes. Esta formulación hace posible la determinación de la concentración de contaminantes en los lugares de interés mediante un número mínimo de simulaciones. Tales esquemas se combinan con un enfoque híbrido de diseño óptimo que hace uso de una búsqueda estocástica en conjunto con el método de Newton-Raphson. El modelo desarrollado es implementado en el sistema de elementos finitos FlexPDE. Mediante varios ejemplos se muestra la muy buena eficiencia del modelo presentado.*

**Palabras clave:** Modelo Hidrodinámico, Transporte de Contaminantes, Problema Adjunto, Optimización.

## **ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA PRODUCTO DE LOS PROCESOS MINEROS: IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA**

**Milín<sup>\*</sup>, Erica M. ; Quiroga, Silvia; Capati, Nicolas, Tempestilli, Federico;  
Viegas, Leonardo y Zakhem, Yamila**

Universidad Tecnológica Nacional.  
Facultad Regional Buenos Aires.  
Medrano 951, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: [ericamilin@yahoo.com](mailto:ericamilin@yahoo.com)

**Resumen:** *El siguiente es un trabajo de simulación dinámica que se centra en el estudio de la calidad del agua utilizada en los procesos mineros. El objetivo del trabajo es mostrar la incidencia del proceso en la contaminación del agua. Para realizar la ponderación de la calidad del agua se empleó el ICG, un índice utilizado mundialmente para la obtención de un valor representativo de la misma. Teniendo en cuenta que las aguas subterráneas son recursos No Renovables, se llevó a cabo el cálculo de la relación del nivel de agua entre lo que entra o retornan, ya que el consumo por parte de la minería es excesivo y no se toman medidas ante esta situación. Para la simulación se empleó la metodología de Avance del Tiempo a Intervalos Constantes con  $\Delta t = 1$  día, representando así la actividad minera diaria. Se plantearon diferentes escenarios, donde se visualiza las diferencias entre lo legalmente aceptable y lo que realmente sucede. Los diferentes resultados relevados muestran variaciones significativas entre los escenarios. Es notoria la baja calidad del agua obtenida luego de la intervención de la minería, en comparación con lo esperado si se aplicaran las leyes vigentes. Así también, es notable la poca cantidad de agua que retornan. A través de la simulación se permite observar (y alertar) sobre los efectos que produce (y producirá) esta actividad. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de los resultados y gráficas comparativas de la situación, que permitieron arribar a la siguiente conclusión: en caso de continuar a éste ritmo, no solo quedaría comprometida la calidad sino también la disponibilidad del propio recurso.*

**Palabras clave:** Minería, Simulación Dinámica, Calidad del Agua, Contaminación

## RIEGO ALTERNATIVO CON AGUA RESIDUAL PARA FLORES

Moya, N. S.\*; Neme, N.; Murillo, M. D.; Gianetto, E. F. y Vega Caro, L.

Centro de Investigación e Ingeniería Ambiental - CEDIA  
Facultad Regional Tucumán  
Rivadavia 1050

e-mail: [susana\\_moya2004@yahoo.com.ar](mailto:susana_moya2004@yahoo.com.ar) , [nemenadim@hotmail.com.ar](mailto:nemenadim@hotmail.com.ar);  
[emm@tucbbs.com.ar](mailto:emm@tucbbs.com.ar); [vecagi@hotmail.com](mailto:vecagi@hotmail.com)

**Resumen.** *El uso de agua residual cloacal para riego, previamente tratada para su estabilización, constituye una alternativa utilizada en varios países del mundo, evitando de esta manera volcar las mismas en crudo a los espejos de agua donde pueden generar problemas de contaminación ambiental, y por el otro lado es una importante alternativa ante la escasez de recurso hídrico para riego de productos agrícolas, forestales o frutales. Se busca métodos seguros, inocuos para el medio ambiente y eficaces en función de los costos, para depurar y eliminar las aguas residuales. Se presta más la atención en la oportunidad para combinar el aprovechamiento de las aguas residuales urbanas (tanto de los efluentes cloacales como industriales) para el riego de bosques, plantaciones forestales, zonas verdes y cultivos de flores. Los estudios realizados en laboratorio de nuestra Facultad nos ha permitido establecer los beneficios de la utilización de aguas residuales para el riesgo en flores ornamentales, donde los nutrientes ayudan a aumentar la producción de las mismas teniendo en cuenta los factores relacionados como ser riesgo de contaminación de los cultivos por elementos patógenos y metales pesados y los beneficios derivados de las zonas verdes urbanas y periurbanas. También se analizaron los beneficios económicos, el valor de la floricultura y de los servicios ambientales, que normalmente están subvalorados y los beneficios sociales y estéticos.*

**Palabras clave:** Agua Residual, Riego, Flores

## **ANALISIS DE PRIORIDADES PARA LA CONSTRUCCION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOCALES EN EL TRAMO CONCORDIA-CONCEPCIÓN DEL URUGUAY DEL RÍO URUGUAY**

**Zabalett\*, Alejandro, Cardini, Julio, Cardini, Cecilia y Oliver, Néstor**

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)  
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803  
e-mail: {zabaleta,cardinij,-,olivern}@frcu.utn.edu.ar,  
web: <http://www.frcu.utn.edu.ar/investigacion/gecru/web/index.htm>

**Resumen.** *Se evaluó la influencia de las principales descargas cloacales e industriales vertidas en el Río Uruguay sobre la concentración de bacterias coliformes fecales en áreas balnearias de las localidades de San José, Colón y Concepción del Uruguay, a fin de establecer prioridades para la construcción de sistemas de tratamiento eficientes de los efluentes. El criterio de clasificación para priorizar las intervenciones es la influencia relativa de cada fuente contaminante, para la obtención del objetivo de mantener los niveles de contaminación bacteriológica en las playas, por debajo de los valores Guía promedio establecidos por la CARU para Uso Recreativo con contacto directo, tanto en el corto como en el largo plazo. Resulta prioritario controlar las descargas sobre la margen del Río Uruguay aguas arriba de Colón, luego debe mejorarse el tratamiento de efluentes de Colón para mejorar drásticamente la calidad de agua en la margen argentina aguas abajo, incluyendo las islas utilizadas por turistas para recreación, y en el balneario Banco Pelay de Concepción del Uruguay. Finalmente, es necesario el tratamiento de los efluentes cloacales de las localidades de Concordia (Argentina) y de Salto (Uruguay), para mejorar las condiciones de calidad de agua en las playas de San José y Colón, eliminando un nivel de base que se acerca al Nivel Guía.*

**Palabras Clave:** Tratamiento de efluentes cloacales, Río Uruguay, Contaminación Bacteriológica, Balnearios.

## INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO URUGUAY DE LAS DESCARGAS CLOACALES DE LAS CIUDADES DE CONCORDIA Y SALTO

**Zabalett<sup>\*</sup>, Alejandro; Cardini, Julio; Mársico, Daniel y Oliver, Néstor**

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)  
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803  
e-mail: {zabaleta,cardinij,marsicod,olivern}@frcu.utn.edu.ar,  
web: <http://www.frcu.utn.edu.ar/investigacion/gecru/web/index.htm>

**Resumen.** *Pretendiendo evaluar la incidencia de las descargas de líquidos cloacales crudos de las ciudades de Concordia y Salto en la zona de Colón, ubicada 80 km aguas abajo en el Río Uruguay, se ha efectuado una modelación unidimensional de calidad de agua, empleando el Modelo MIKE11. Se estimaron las descargas máxicas diarias de Concordia y Salto y se modeló el impacto sobre la concentración de bacterias colifecales bajo diferentes hipótesis de caudal y temperatura. En aguas bajas, las concentraciones que arriban a la zona de Colón pueden llegar a exceder el nivel Guía promedio de balneabilidad establecido por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) que es de 200 UFC/100ml. Si se trataran los líquidos cloacales de la ciudad de Concordia, se reduciría a un 36 % la descarga, con lo que la influencia sobre la ciudad de Colón se verá reducida en la misma magnitud, alcanzando unos 107 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno. Si dentro de 30 años, se produjera únicamente el tratamiento de los líquidos de Concordia, se incrementaría en un 42% la concentración de colifecales en Colón respecto a la condición actual, ascendiendo a unos 180 UFC/100ml, valor cercano al nivel Guía promedio.*

**Palabras Clave:** Contaminación Cloacal, Río Uruguay, Modelación Matemática Unidimensional, Concordia, Colón.

## **AFECTACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LAS COSTAS DE COLÓN Y CONCEPCIÓN DEL URUGUAY DEBIDO A LOS IMPACTOS BACTERIOLÓGICOS CAUSADOS POR DESCARGAS CLOACALES E INDUSTRIALES**

**Zabalett\*, Alejandro, Cardini, Julio; Oliver, Néstor y Cardini, Cecilia**

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)  
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)  
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)  
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803  
e-mail: {zabaleta,cardinij,olivern,-}@frcu.utn.edu.ar,  
web: <http://www.frcu.utn.edu.ar/investigacion/gecru/web/index.htm>

**Resumen.** *La presencia de indicadores de contaminación bacteriológica detectados a través de mediciones realizadas por el GECRU en los balnearios de la costa del Río Uruguay, motivó la realización de un estudio que permitiera identificar las causas del problema, a los efectos de evaluar y recomendar acciones de saneamiento. Para ello se realizó una identificación y cuantificación estimativa de las principales descargas cloacales e industriales en el tramo entre Pueblo Liebig y Concepción del Uruguay, y se modeló bidimensionalmente la calidad de agua resultante en el curso fluvial, utilizando los modelos hidrodinámico RMA2 y de transporte de contaminantes RMA4 en el entorno Surface Modelling System, determinando el impacto de cada descarga en la calidad de agua de las áreas balnearias de Colón y Concepción del Uruguay (Banco Pelay). Se evaluó el grado de contaminación, medido a través de la concentración de bacterias coliformes fecales, en diferentes puntos de la costa, considerando la situación actual y escenarios en un horizonte de 30 años. El modelo RMA4, permitió identificar los principales procesos de dilución-dispersión, siendo sus resultados muy dependientes de los coeficientes de dispersión, los cuales se ajustaron en base a mediciones efectuadas por el GECRU. La calidad de agua en la zona balnearia de Banco Pelay es afectada por la descarga cloacal de Colón cuyo efluente no se corresponde con el hecho de que dispone de lagunas de tratamiento. El estudio evolutivo, al final del período, prevé un incremento de la concentración bacteriológica sobre los balnearios de aproximadamente un 63% respecto a la actual. Se concluyó que resulta imperioso realizar obras de saneamiento que puedan reducir estas importantes cargas contaminantes.*

**Palabras Clave:** Impacto Bacteriológico, Río Uruguay, Modelación Matemática Bidimensional, Concepción del Uruguay.

## **PROYECTO: SISTEMAS DE TRATAMIENTO ALTERNATIVOS PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EFLUENTES DOMICILIARIOS, INDUSTRIALES Y AGROPECUARIOS.**

**Panigatti, M. Cecilia; Boglione, Rosana; Griffa, Carina; Boidi, Marco; Cassina, David y Schierano, M. Celeste**

Laboratorio de Química  
Facultad Regional Rafaela.  
Universidad Tecnológica Nacional.  
Bv Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina  
TE: (03492) 432702. FAX: (03492) 432710  
[maria.panigatti@fra.utn.edu.ar](mailto:maria.panigatti@fra.utn.edu.ar), [cecipanigatti@hotmail.com](mailto:cecipanigatti@hotmail.com)

**Resumen.** *Se ha estudiado y evaluado la existencia de contaminación de las aguas subterráneas en la ciudad de Rafaela y zona, debido principalmente a la influencia de aguas negras, industriales y agropecuarias. En el presente proyecto, se propone diseñar y estudiar tratamientos que mitiguen las distintas problemáticas. Existen diferentes alternativas para la remoción de contaminantes de las aguas, sin embargo los costos son una limitante para la puesta en marcha de algunos tratamientos. A nivel mundial, se ha comenzado a estudiar la aplicación de métodos naturales, igualmente efectivos para el tratamiento de aguas y efluentes, siendo un ejemplo los humedales tanto naturales como construidos. En la ciudad de Rafaela y zona, en lo que se refiere a aguas subterráneas, la contaminación se debe principalmente a las altas concentraciones de arsénico, flúor y nitratos. Se estudiará la posibilidad de utilizar distintas plantas acuáticas (macrófitas) para la remoción de dichos contaminantes, realizando estudios a escala laboratorio y piloto. Para aquellos lugares donde no cuentan con el servicio de desagüe cloacal, se propone el diseño y ejecución de un sistema alternativo al pozo negro, constituido por una cámara séptica y un lecho filtrante. Las actividades desarrolladas en los predios lecheros, influyen en la calidad de las aguas subterráneas. De acuerdo con los resultados obtenidos en estudios previos, se propone en este proyecto mejorar el manejo de los mismos, de tal manera de disminuir la carga contaminante en el ingreso al sistema. Se plantea además, la construcción de humedales para ampliar el tratamiento existente y mejorar la calidad del efluente tratado. Se estudiarán y propondrán alternativas de mejora para la construcción de nuevas plantas de depuración en otros predios lecheros, que aún no cuentan con métodos adecuados para la remoción de contaminantes, incluyendo como propuesta el tratamiento anaeróbico para obtención de biogás.*

**Palabras clave:** aguas, efluentes, tratamientos, macrófitas,

## **PROYECTO: ESTUDIO DE LA DINÁMICA (ESPACIAL Y TEMPORAL) DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIALES Y URBANOS EN LA ZONA DEL POLO PETROQUÍMICO Y ÁREA PORTUARIA DE BAHÍA BLANCA**

**Cifuentes\* , Olga; Escudero, Daniela; Medus, Silvina**

Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA)  
UTN - Facultad Regional Bahía Blanca  
11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca

[ocifuentes@speedy.com.ar](mailto:ocifuentes@speedy.com.ar); [daniela\\_escudero@yahoo.es](mailto:daniela_escudero@yahoo.es)  
[silvina\\_medus@yahoo.com.ar](mailto:silvina_medus@yahoo.com.ar) ; <http://www.frbb.utn.edu.ar>

**Resumen.** *La Municipalidad de Bahía Blanca, a través del Comité Técnico Ejecutivo, genera anualmente un documento denominado “Programa Integral de Monitoreo PIM (Polo Petroquímico y Área Portuaria)”, que contiene los resultados de los monitoreos establecidos por Ley Pcia. Buenos Aires N° 12.530, a fin de someter el programa a una Auditoría Externa. Esta información (más de 7000 datos de análisis realizados a efluentes líquidos industriales y cloacales), es auditada por la Comisión Técnica del Comité de Control y Monitoreo, la cual insiste anualmente sobre la necesidad de una evaluación más profunda de los registros, de manera que marquen tendencias y permitan obtener conclusiones que ayuden a fortalecer la gestión. A fin de satisfacer dichas expectativas, en la UTN FRBB se está desarrollando el proyecto de referencia. Los estudios incluyen la validación y procesamiento estadístico de la información, sistematización en una base de datos e implementación de un Sistema de Información Geográfica con los distintos puntos de descarga de efluentes y los puntos de monitoreo seleccionados por el Instituto Argentino de Oceanografía en la zona interior del estuario, a fin de vincular ambas investigaciones. Se analiza cada uno de los parámetros por descarga (industrial y/o cloacal), anualmente y a lo largo de aproximadamente 10 años de registros de monitoreo, comparando las distintas descargas por parámetro y respecto a los máximos establecidos para vuelco a cuerpo receptor, fijados por la legislación vigente. A partir de dicha información, se establecen las cargas máxicas diarias aportadas por cada vuelco al estuario y la población equivalente. Asimismo, se contempla investigar para los contaminantes de tipo industrial que aparecen en los efluentes cloacales, el tipo de industrias que podrían ser generadoras, identificando las mismas sobre las distintas cuencas colectoras de Bahía Blanca. El presente constituye el primer avance del proyecto, en base a la evaluación de resultados máxicos de análisis de algunos parámetros, a partir de los cuales ya surgen herramientas de apoyo a la gestión.*

**Palabras clave:** Calidad de Agua, Efluentes, Contaminación, Estuario, Polo Industrial, Reunión PRODECA

## LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA DE AGUAS Y EFLUENTES FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA U.T.N.

**Marín\*, Graciela N.; Moyano, Silvia A.; Pegoraro, Lidia E.; Pusetto; Evangelina; Brussa, Daniela B.; Debernardi, Adriana y Márquez, Florencia**

Laboratorio de Química y Microbiología.  
Facultad Regional Villa María.  
Universidad Tecnológica Nacional  
Av. Universidad 450. (5900). Villa María, Córdoba, Argentina.  
[lab\\_quimica@frvm.utn.edu.ar](mailto:lab_quimica@frvm.utn.edu.ar)

**Resumen:** *La principal actividad que desarrolla el Laboratorio se encuentra dirigida a la prestación de servicios a terceros, mediante la realización de análisis Físico Químico y Microbiológicos de aguas y efluentes. Los usuarios de nuestros servicios son las cooperativas de provisión de agua potable tanto de Villa María, como de su zona de influencia, empresas en general y particulares. Conjuntamente con las tareas de servicios, se desarrollan actividades de investigación, publicaciones y presentaciones a congresos. Se han dirigido y desarrollado tesis de la Maestría en Tecnología de Alimentos y tesis en Licenciatura en Educación Superior. También se realiza la capacitación de alumnos estudiantes de la carrera de Ingeniería Química bajo la tutoría del personal estable, que se desempeñan como pasantes y luego de una formación exhaustiva, participan de la realización de los análisis de las distintas áreas.*

**Palabras claves:** Análisis Físico Químico, Microbiológicos, agua, efluentes.

## **LABORATORIO DE QUÍMICA FACULTAD REGIONAL RAFAELA. ANÁLISIS DE AGUAS Y EFLUENTES.**

**Panigatti, M. Cecilia; Boglione, Rosana; Griffa, Carina; Gentinetta, Fabiana; Boidi, Marco; Cassina, David y Schierano, Celeste**

Facultad Regional Rafaela. Universidad Tecnológica Nacional.  
Bv Roca 989. Rafaela. Santa Fe. Argentina  
TE: (03492) 432702. FAX: (03492) 432710  
[maria.panigatti@frra.utn.edu.ar](mailto:maria.panigatti@frra.utn.edu.ar), [cecipanigatti@hotmail.com](mailto:cecipanigatti@hotmail.com)

**Resumen** *El Laboratorio de Química de la Facultad Regional Rafaela ofrece servicios de análisis de agua y efluentes líquidos, abarcando tanto el área fisicoquímica como bacteriológica. Dichos servicios son brindados a las industrias, municipios y comunas, productores agropecuarios y toda la comunidad. Además se realizan trabajos de asistencia técnica en el área medioambiental trabajando con distintas empresas de la ciudad y zona. Se efectúan monitoreos de agua subterránea, de agua de proceso y de efluentes. Se brindan respuestas a consultas realizadas por clientes, en cuestiones inherentes a la aptitud del agua para consumo humano o animal, como así también su uso para riego. Debido a los requerimientos de los clientes del Laboratorio se ha tenido que comenzar con la implementación de un sistema de calidad para la futura acreditación de técnicas de análisis. El trabajo se centra en la aplicación de la norma internacional vigente para la acreditación de laboratorios (ISO/IEC 17025), adecuando su organización y funcionamiento a las recomendaciones actuales. Desde el año 2000 hasta la fecha se han desarrollado numerosos proyectos de investigación vinculados con la temática medioambiental. En alguno de ellos se trabajó conjuntamente con el INTA, mientras que en otros hubo una vinculación con Grupos de otras Facultades Regionales de la UTN. También se llevaron a cabo proyectos requeridos por industrias de la ciudad y empresas de la zona. Las actividades de investigación desarrolladas, permitieron durante estos últimos años, realizar presentaciones en diferentes congresos tanto a nivel nacional como internacional, como así también publicaciones en revistas de interés científico. Actualmente se ha realizado la presentación del pedido de reconocimiento y autorización institucional para la creación del Grupo de Investigación y desarrollo (GRUPO UTN): “Grupo de Estudios de Medio Ambiente (GEMA)”.*

**Palabras claves:** análisis fisicoquímico, análisis bacteriológico, aguas, efluentes

## PRESENTACIÓN DE ARG CAP NET

**Cifuentes, Olga y Sartor, Aloma**

Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA)  
UTN - Facultad Regional Bahía Blanca  
11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca  
[ocifuentes@speedy.com.ar](mailto:ocifuentes@speedy.com.ar)  
[asartor@frbb.utn.edu.ar](mailto:asartor@frbb.utn.edu.ar)  
<http://www.frbb.utn.edu.ar>

**Resumen.** *La Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (Arg CAP NET), es una Asociación Civil sin fines de lucro, creada en el 2002 e integrada por instituciones que actúan en los ámbitos nacional, provincial y local en relación con la planificación, el uso, la preservación, la difusión y la enseñanza en temas de recursos hídricos, con el propósito de formar recursos humanos y de fortalecer la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Son miembros de esta red, instituciones públicas y privadas, entre las que se puede citar a las Universidades Nacionales de Buenos Aires, La Plata, Córdoba, Cuyo, Litoral, del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Rosario, San Juan, Mar del Plata, del Nordeste, Santiago del Estero, Río Cuarto, Patagonia San Juan Bosco, La Pampa, Salta y del Sur, el Instituto Nacional del Agua, el Instituto Argentino de Recursos Hídricos, la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria, el Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua, el Departamento Provincial de Aguas de Río Negro, Agua y Saneamiento Argentino y el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado. La Universidad Tecnológica Nacional es miembro de Arg CAP-NET desde el 2009 e integra su Comité Ejecutivo. Las actividades que se desarrollan se pueden consultar en: <http://www.argcapnet.org.ar>. Objetivos de Arg CAP-NET: a) Contribuir a la formación y capacitación de recursos humanos en todos los ámbitos y niveles, en temas relacionados con la GIRH, especialmente en sus aplicaciones en agua potable, saneamiento y agricultura; b) Promover los conceptos básicos de la GIRH; c) Propiciar, facilitar y difundir el intercambio del conocimientos, habilidades y experiencias realizadas en la GIR; d) Mejorar la articulación entre sus miembros y con otras instituciones y redes, realizando alianzas estratégicas; e) Promover la investigación en GIRH y en especial en cuanto a sus aplicaciones en agua potable, saneamiento y agricultura.*

**Palabras clave:** Arg Cap Net, capacitación, GIRH, Reunión PRODECA

## CONFLICTOS Y POLÍTICA DE GESTIÓN DEL AGUA. GOBERNANZA TERRITORIAL Y DESARROLLO EN TORNO A LA CRISIS DEL RECURSO

**Bustos Cara<sup>\*</sup>, Roberto N.; Sartor, Aloma S.; Cifuentes, Olga I.;  
Campana, Horacio D.; Di Martino, Claudina; Epulef, Rossana;  
Frank, Carlos F.; González, Mariana V.; Torres, Noelia S. y Zalba, Sergio M.**

Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA)

UTN - Facultad Regional Bahía Blanca

11 de Abril 461 - (8000) Bahía Blanca

[usbustos@uns.edu.ar](mailto:usbustos@uns.edu.ar); [asartor@frbb.utn.edu.ar](mailto:asartor@frbb.utn.edu.ar);

[ocifuentes@speedy.com.ar](mailto:ocifuentes@speedy.com.ar); [hcampana@frbb.utn.edu.ar](mailto:hcampana@frbb.utn.edu.ar); [claudinadimartino@hotmail.com](mailto:claudinadimartino@hotmail.com)

[repulef@frbb.utn.edu.ar](mailto:repulef@frbb.utn.edu.ar); [carlosfrank@criba.edu.ar](mailto:carlosfrank@criba.edu.ar); [mgonzal@frbb.utn.edu.ar](mailto:mgonzal@frbb.utn.edu.ar);

[noli@frbb.utn.edu.ar](mailto:noli@frbb.utn.edu.ar); [szalba@criba.edu.ar](mailto:szalba@criba.edu.ar)

<http://www.frbb.utn.edu.ar>

**Resumen.** *Se presentan los avances de un proyecto que aborda la perspectiva de gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) de las cuencas de influencia de la ciudad de Bahía Blanca. La región localizada en el sudoeste bonaerense, ha presentado en los últimos años condiciones críticas en relación con el recurso hídrico. La ciudad de Bahía Blanca y la vecina Punta Alta conforman un conglomerado urbano de características: portuario-industrial y de servicios, ubicado sobre una zona semiárida con condiciones de transición climática y promedios de lluvias que varían entre 300 y 600 mm anuales. Su principal fuente de abastecimiento es el embalse Paso de las Piedras, que se localiza en la cuenca del Río Sauce Grande y que es compartida por diferentes Partidos<sup>1</sup>. Desde la unidad de la cuenca, se propone definir indicadores para realizar una evaluación de la presión existente sobre el recurso y su grado de disponibilidad, considerando su utilización en actividades urbanas y rurales. Para cada cuenca, la utilización de un SIG facilita el análisis multi-temático que permite identificar las zonas más críticas respecto del estado del recurso. La problemática del agua, requiere además la incorporación del marco institucional y de la identificación de los actores y conflictos sobre el territorio en torno a la gestión del recurso. Asimismo se analiza la diversidad de modalidad de gestión público, privada y mixta y sus relaciones. El proyecto incluye diversas componentes, como la modalidad de gestión de los servicios, las fuentes de agua utilizadas, las tecnologías de extracción y tratamiento y los sistemas de distribución, la existencia de redes cloacales y las tipologías de tratamiento, los usos agrícolas de aguas superficiales y subterráneas y los usos no consuntivos (humedales de valor para la conservación de biodiversidad). Los avances realizados en el proyecto se vuelcan mapeados en esta presentación.*

**Palabras clave:** Gobernanza, GIRH, Sudoeste bonaerense, Reunión PRODECA

---

<sup>1</sup> Unidad de división territorial y administrativa de la Pcia. de Buenos Aires.

## **PROPUESTA DE UN MARCO NORMATIVO NACIONAL PARA EL REUSO DE AGUAS RESIDUALES, DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS PRESUPUESTOS MÍNIMOS**

**Sartor, Aloma S. y Cifuentes, Olga C.**

Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental (GEIA)

UTN - Facultad Regional Bahía Blanca

11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca

[asartor@frbb.utn.edu.ar](mailto:asartor@frbb.utn.edu.ar)

[ocifuentes@speedy.com.ar](mailto:ocifuentes@speedy.com.ar)

<http://www.frbb.utn.edu.ar>

**Resumen:** *El documento desarrolla los aspectos centrales de un proyecto de Ley de Reuso de Aguas Residuales, en el que se trabajó desde el Grupo Estudios de Ingeniería Ambiental (GEIA) de la UTN FRBB, proyecto que actualmente se encuentra en estado parlamentario; en el mismo, y a través de su fundamentación, se realizan aportes de los aspectos más complejos que debería contemplar una ley nacional sobre el reuso de aguas residuales, en su perspectiva jurídica, técnica e institucional. La Argentina no tiene un marco legal en la materia y los estados provinciales han desarrollado experiencias de reutilización de aguas residuales con diferentes grados de consolidación, especialmente en actividades de carácter productivo. El proyecto se realiza desde la perspectiva de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), desde donde se definen los criterios para establecer las políticas o evaluar los proyectos, entre los que se destacan: la cuenca hidrográfica como unidad de análisis; el agua como recurso único independiente de sus fases, estado o calidad; propender a sistemas de servicio de agua y saneamiento bajo un enfoque integrado; planificación y gestión contemplando la necesaria coordinación entre las diferentes jurisdicciones y organismos que gestionan los recursos hídricos. El proyecto define las categorías de reuso permitido y las prohibidas, asimismo se propone por vía reglamentaria definir los parámetros que fijarán los estándares de calidad vinculados a cada uso. En este sentido es necesario establecer criterios sanitarios y ambientales por medio de parámetros químicos, físicos y biológicos en función de los diferentes usos finales. Aunque los avances tecnológicos y el conocimiento de las experiencias realizadas a nivel mundial han flexibilizado estos parámetros en función del uso final, se considera oportuno abrir el debate en el marco de la PRODECA, con la intención de fomentar la discusión y mejoramiento de este proyecto de ley, desarrollar propuestas para su reglamentación futura y contribuir a la generación de un nuevo instrumento consensuado, que colabore con los tomadores de decisión.*

**Palabras clave:** legislación, reuso, aguas residuales, GIRH, Reunión PRODECA