

Modelos de madurez e implementación en industria 4.0 análisis de alternativas y nivel de implementación.

Blanc, Rafael; Pietroboni, Rubén M.; Cettour, Walter; Lepratte, Leandro

*Facultad Regional Concepción del Uruguay – Universidad Tecnológica Nacional
rafaellujanblanc@yahoo.com.ar*

RESUMEN

La implementación de la Industria 4.0 puede verse como el cambio de mayor importancia en la historia industrial reciente luego de la implementación de los sistemas de aseguramiento de la calidad en la manufactura. A pesar de los beneficios conocidos de la Industria inteligente, su adopción y efectuar la transformación hacia lo digital sigue siendo un desafío para las pymes. Existen gran cantidad de modelos de madurez en automatización y digitalización de industrias; unos estrictamente teóricos y otros que son guías prácticas de diagnóstico e implementación. En los últimos encontramos a Acatech industria 4.0, que tiene nivel de elevada implementación en Europa y Latinoamérica y en Asia el índice de preparación de la industria inteligente de Singapur. Se analizan y comparan los modelos de madurez de implementación de industrias inteligentes antes mencionados y luego se selecciona una alternativa y se evalúan una muestra de industrias de la provincia de Entre Ríos colocando a las firmas en diferentes niveles de acuerdo a sus resultados. Posteriormente se detallan cuáles son los obstáculos comunes en la implementación de los modelos de producción actuales en la provincia. Finalmente se describen herramientas para incentivar estos cambios para las empresas.

Palabras Claves: Cambio tecnológico, Industria 4.0, Implementación, Madurez, Diagnostico.

Maturity Models implementation in smart industry analysis of alternatives and stages of implementation.

ABSTRACT

The implementation of Industry 4.0 can be seen as the most important change in recent industrial history after the implementation of quality assurance systems in manufacturing. Despite the known benefits of Smart Industry, its adoption and transformation to digital remains a challenge for small and mid-size enterprises. There are a large number of maturity models in automation and digitization of industries; some strictly theoretical and others that are practical diagnostic and implementation guides. In the last ones we find Acatech industry 4.0, which has a high level of implementation in Europe and Latin America and in Asia the readiness index of the smart industry of Singapore. Advance in smart industries implementation maturity models is analysed and compared and then an alternative is selected and a sample of industries in Entre Ríos state are evaluated, placing the firms at different levels according to their results. Subsequently, the common obstacles in the implementation of current production models in the province are detailed. Finally, tools are described to encourage these changes for companies.

Key Words: Technological change, Industry 4.0, Implementation, Maturity, Diagnosis.

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO DE REFERENCIA

El concepto “Cuarta Revolución Industrial” se ha instalado a nivel internacional a partir de un grupo de especialistas, pertenecientes a diferentes gobiernos (sobre todo de origen alemán) como una herramienta para la mejora de la productividad en la industria manufacturera y como motor de desarrollo económico mediante la expansión de las industrias de soporte tanto en hardware como software industrial. El paquete de industria 4.0 no es novedoso en sí mismo, es la combinación de tecnologías físicas (hardware de control y comunicación) y tecnologías digitales software (para la toma, gestión y análisis de datos) que ya existían con anterioridad. Impulsa el uso de este término la necesidad países desarrolladas por movilizar sus economías, recuperar empresas y procesos externalizados a partir de la aplicación de industria 4.0 y sus industrias de soporte. Por esto, el término de “Industria 4.0”, comenzó a generalizarse y a ser relevante para sectores y empresas, que emprendieron acciones para desarrollar y adecuarse a estos procesos que podrían reconfigurar sus ventajas competitivas y transformar estructuralmente sus capacidades industriales. [1, 2].

Uno de los componentes de la cuarta revolución industrial es la automatización mediante electrónica, podemos posicionarla a finales de los años sesenta con el desarrollo de los primeros controladores lógicos programables (PLC), al mismo tiempo surge la primera etapa de los microprocesadores que con mayor poder de cálculo que permitieron controlar con mayor precisión el flujo de datos. Posteriormente estos procesadores escalaron su capacidad de cálculo este proceso fue acompañado de una expansión de la memoria disponible para el almacenamiento y procesamiento de datos. En simultáneo se da el surgimiento y expansión del hardware de soporte de comunicaciones y redes, con el mismo comportamiento de su contraparte que son los softwares de control, como ejemplo de los primeros fueron los planes maestros de producción (MRP). Posteriormente estos programas evolucionaron no solo a captar datos internos de la empresa si no a mezclar tanto datos internos como externos en post de lograr mejorar el proceso de toma de decisiones empresariales [3, 4].

La terminología de industria 4.0 se populariza a partir del año 2010 dado que algunos cambios logran impulsarla [1, 2]. Entre ellos, se destacan el mejoramiento del hardware de procesamiento, mejoras del almacenamiento, expansión del software de control, el surgimiento y crecimiento redes de comunicación de datos tanto físicas como móviles. Estos fenómenos son acompañados por caídas de los costos de implementación y mantenimiento por parte de las empresas. Por otro lado, la evolución de la implementación de computadoras personales y la penetración de INTERNET en los hogares, genera un proceso de cierre a nivel tecnológico en los dispositivos móviles que combinan ambas cosas procesamiento y conectividad que permiten tanto a empresarios como clientes tener una comunicación fluida en la actividad comercial. [5, 6, 7].

Las tecnologías que componen la industria 4.0 entre otras son: big data, internet de las cosas, robotización, inteligencia artificial, aprendizaje automático, impresión 3D, sensores, realidad virtual, servicios en la nube, y otras. Estas tecnologías están asociadas a la digitalización y la conectividad. Que están cambiando: la forma de producir, los modelos de negocios, el mercado laboral y las tareas que llevan adelante los trabajadores. En la siguiente Tabla, se presenta qué tecnologías están asociadas en forma directa a la Industria 4.0 en el enfoque de diversos autores. [8; 9, 10, 11, 12].

Tabla 1: *Tecnologías asociadas a 4.0*

Publicación	Ítems a tener en cuenta.
[8] (2015)	Integraciones de computación y procesos físicos. Las computadoras y redes integradas monitorean y controlan los procesos físicos, generalmente con circuitos de retroalimentación donde los procesos físicos afectan los cálculos y viceversa. El Internet de las cosas (IoT) permite que "cosas" y "objetos", como RFID, sensores, actuadores, teléfonos móviles, a través de esquemas de direccionamiento únicos, interactúan entre sí y cooperan con sus componentes "inteligentes" vecinos, para alcanzar objetivos comunes. Proveedores de servicios para ofrecer sus servicios a través de internet. La fábrica inteligente se define como una fábrica que consciente del contexto ayuda a las personas y las máquinas en la ejecución de sus tareas. Esto se logra mediante sistemas que funcionan en segundo plano, los llamados sistemas de calma y conscientes del contexto significa que el sistema puede tener en cuenta la información de contexto, como la posición y el estado de un objeto. La interoperabilidad es un habilitador de Industria 4.0. En las empresas Industria 4.0, los sistemas ciber físicos (CPS) y humanos están conectados a través de IoT y IoS. El sensor y los datos están vinculados a modelos de planta virtual y modelos de simulación. Así, se crea una copia virtual del mundo físico, el estado de la planta es permanentemente rastreado y analizado. La planta se basa en una arquitectura orientada al servicio, los sistemas pueden adaptarse de manera flexible a los requisitos cambiantes al reemplazar o expandir un módulo individual.
[9] (2016)	Integración de sensores y actuadores; Comunicación y conectividad; Funcionalidades para el almacenamiento de datos e intercambio de información; Vigilancia; Servicios de TI relacionados con el producto; Modelos de negocio en torno al producto. Procesamiento de datos en producción; Comunicación máquina a máquina; Red de empresas con la producción; Infraestructura de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones en la producción; Interfaces hombre-máquina.
[10] (2018)	Entorno artificial (virtual) del mundo real utilizando diversas tecnologías innovadoras como dispositivos móviles, dispositivos portátiles, etc. Fabricación aditiva crea partes complejas desde cero, en su mayoría agregando una capa a la vez, en base a un modelo CAD 3D. IoT, describe la conexión y la comunicación de "cosas" físicas a través de Internet. Los conjuntos de datos ahora se caracterizan por su alto volumen, velocidad y naturaleza de variedad más veracidad y valor. Los CPS son sistemas de entidades computacionales colaborativas que están en conexión con el mundo físico que lo rodea y sus procesos en curso, proporcionando y utilizando, al mismo tiempo, los servicios de acceso y procesamiento de datos disponibles en Internet.
[11] (2019)	Sistemas de monitoreo digital en tiempo real; Transformación cultural; Análisis de big data; Sistemas de fabricación ágil; Estaciones de trabajo digitales y conectadas; Rol del Operador; E-Kanban; Sistemas automatizados de transporte; Computación en la nube; Fabricación automatizada / montaje; Robótica colaborativa; Entrenamiento 4.0; Sistemas de almacenamiento automatizados; Monitoreo remoto de productos; IoT y CPS; Mantenimiento predictivo; identificación y tecnología de seguimiento; Sistemas de Soporte a la Decisión; Sistemas de productos y servicios digitales; Modelos de redes de colaboración; PDM y PLM; Normas CPS; Sistemas de fabricación auto adaptativos; Tele-mantenimiento; Simulación; Punto de venta digital; Innovación abierta; Sistemas de asistencia inteligente; Modelos de flujo de material continuo; Diseño sostenible de la cadena de suministro; Inteligencia artificial; Plug and Produce; VR y AR; Servitización / Economía Compartida; Fabricación Aditiva (Impresión 3D); Objeto autoservicio; Bloqueo digital; Freemium; Complemento digital o actualización

[12] (2021)	Internet de datos, servicios y personas, Blockchain, Tecnologías semánticas, Realidad virtual, Internet industrial de las cosas, seguridad cibernética, Fabricación aditiva, Simulación, Big Data, gemelos digitales, Realidad aumentada, Analítica de datos, Robótica industrial, Computación en la nube, Sistemas ciber físicos
-------------	---

Fuente: elaboración propia en base a los artículos citados.

De los trabajos analizados en la Tabla anterior (Tabla 1) se observa que las tecnologías 4.0 pueden variar según el enfoque de análisis y que si bien hay tecnologías que son consideradas desde el principio como los sistemas ciber físicos hay otras que entran en vigencia en a medida que la los procesos smart factory trascienden en ámbito de la industria como son block chain, 5g aplicado a IoT y como soporte para los autos inteligentes, entre otras. Por lo cual se puede observar una evolución en las tecnologías del modelo 4.0 a medida que el tiempo avanza y la función de automatización y digitalización deja de relacionarse solo a lo meramente productivo y abarca el resto de ámbitos de la organización.

Con el fin de comprobar el grado de avance de las empresas en los procesos de implementación de industria 4.0 cobran importancia de los modelos de madurez (MM). Estos modelos de diagnóstico y análisis con una fuerte impronta ingenieril funcionan como guías para la implementación de tecnologías y que establecen estadios dentro de la digitalización y automatización. Los mismos implican un examen de la organización para identificar brechas de adopción, el análisis detallado de los datos recabados en toda la organización que van desde procesos dentro de la organización a impactos tecnológicos y metodológicos en el negocio y hasta por los recursos humanos de la organización.

1.1 Modelos de Madurez

Los MM implican un análisis minucioso de la organización para identificar brechas y debilidades en la adopción de tecnologías 4.0. El diagnóstico se lleva a cabo en toda la organización, en cada etapa de los procesos y se evalúa los requisitos que son necesarios para que la firma adopte la Industria 4.0. Los datos se obtienen a través de cuestionarios que tratan sobre el estado de la transformación digital de la organización, el análisis de los procesos principales y entrevistas con el personal involucrado para identificar brechas tanto de los procesos como de las habilidades. El resultado del análisis se utiliza el cómo marco del MM para calcular el nivel de madurez tecnológica de la organización, donde dependiendo de un valor alcanzado será el de madurez asignado a esa área [13]. Las métricas de nivel de madurez pueden permitir la comparación entre varias organizaciones consideradas en términos de los niveles. Es importante su aporte como una hoja de ruta, que permite a las empresas iniciar la transformación en post de la implementación de la Industria 4.0.

1.1.1 Modelo Acatech

Uno de los MM más utilizados es el de Acatech perteneciente a la Academia Alemana de Ciencia e Ingeniería. Esta asociación toma estándares académicos de las ingenierías y de las ciencias y técnicas alemanas para asesorar a políticos y al sistema público en temas del futuro relacionados a la aplicación de las tecnologías y la política tecnológica. El MM Acatech [14, 15, 16] permite a las organizaciones identificar su estado respecto a la etapa de digitalización hacia la Industria 4.0. Las evaluaciones se realizan en el contexto de la organización, con un enfoque en los procesos de las empresas de fabricación y al ambiente asociado al mismo. El proceso de aplicación en tres fases, en la primera fase de diagnóstico del estado de madurez de la firma, seguido en la segunda por un plan de mejoras o desarrollo de capacidades en los puntos débiles, finalmente en el último paso se realiza una planificación para su aplicación. Los niveles o stages en que puede estar los pueden estar las diferentes áreas estructurales son seis, siendo el primero la de menor desarrollo y el sexto el de máximo desarrollo. Las denominaciones de las etapas son: uno Informatización, dos conectividades, tres Visibilidad, cuatro transparencias, cinco capacidades predictiva y finalmente seis adaptabilidades.

Tabla 2: Áreas estructurales Acatech

Áreas	Componentes	Descripción
Recursos	Capacidades digitales	Competencias de los empleados para manejo de información digital, presencias de sensores y actuadores que logren una digitalización en tiempo real de los datos y el procesamiento descentralizado de los datos.
	Comunicaciones estructuradas	Sistemas de comunicación eficientes y trazables de unívoca interpretación
Sistemas de información	Auto aprendizaje y procesamiento	Hace referencia a que la información se de calidad y esté disponible, que sea procesada y analizada, y al almacenamiento de datos tanto a nivel local como en la nube.
	Integración del sistema de información	Se analiza los sistemas de información en cuanto a su nivel de integración, interfaces, manejo de datos y ciber seguridad.
Estructura Organizacional	Organización Interna orgánica	Analiza el funcionamiento de los recursos humanos y sus formas de trabajo con temas como el manejo ágil de grupos de trabajo, los sistemas de motivación de empleados, la correcta o direccionada toma de decisiones por parte de los líderes, los equipos de trabajo por áreas y su comunicación e interacción con objetivos comunes.
	Colaboración con la cadena de valor	Analiza si la estructura de recursos humanos es funcional al modelo de valor del cliente y si está enfocada en lograr ventajas competitivas, las competencias e interacción de los proveedores y empresa en post de satisfacer a los clientes.
Cultura	Apoyo al cambio	Reconocimiento y uso de los errores como enseñanzas, sistemas de innovación abierta y aprendizaje basado en datos para la toma de decisiones. Desarrollo profesional continuo y propensión al cambio.
	Colaboración social	Sistema democrático de liderazgo, confianza en la comunicación y el sistema social, modelos abiertos y colaborativos de interacción.

Fuente: elaboración propia en base a artículos sobre MM

Las cuatro áreas estructurales anteriores componen las partes de las áreas funcionales, por lo cual se evalúa su funcionamiento dentro de las mismas.

Tabla 3: Áreas funcionales Acatech

Área funcional	Descripción	Áreas estructurales
Desarrollo	Aspectos relacionados al creación y puesta en marcha de nuevos productos y servicios.	Recursos
		Sistema de Información
		Estructura Organizacional
		Cultura
Producción	Aspectos relacionados al a la actividad de la empresa y a los servicios relacionas en lo relativo a su realización.	Recursos
		Sistema de Información
		Estructura Organizacional
		Cultura
Logística	Procesos relacionados a los movimientos tanto internos como externos de inputs y outputs de la producción.	Recursos
		Sistema de Información
		Estructura Organizacional
		Cultura
Servicios	Servicios que dan soporte a las diferentes áreas de la empresa a fin de que puedan cumplir sus objetivos.	Recursos
		Sistema de Información
		Estructura Organizacional
		Cultura

Marketing y ventas	Actividades relacionadas a la actividad comercial y al seguimiento de clientes.	Recursos
		Sistema de Información
		Estructura Organizacional
		Cultura

Fuente: elaboración propia en base a artículos sobre MM

1.1.2 Modelo industria inteligente de Singapur (SIRI)

El Índice de preparación para la industria inteligente de Singapur (SIRI) [17, 18] es un MM que se creó para ayudar a las empresas a comprender los beneficios de la Industria 4.0 mediante la identificación de las debilidades y los pasos necesarios para la adopción de la Industria 4.0. Consta de cuatro pasos: primero aprender conceptos clave y crear un lenguaje común, segundo evaluar los niveles de madurez actuales de la Industria 4.0 de las instalaciones existentes, tercero diseñar una estrategia integral de transformación y una hoja de ruta de implementación, cuarto puesta en marcha de las iniciativas de transformación. Se compone de tres áreas fundamentales en la Industria 4.0, Tecnología, Procesos y Organización, que están respaldados por ocho componentes clave. Para evaluar a las empresas que utilizan SIRI, las tres áreas de construcción y a las ocho componentes se les asignan a varias dimensiones de evaluación, como se muestra en las Tablas 4 y 5. Las dimensiones son evaluadas numéricamente desde cero a cinco o cero a seis dependiendo del caso, siendo cero el límite inferior y cinco o seis el máximo de desarrollo de la dimensión.

Tabla 4: Áreas estructurales SIRI

Áreas	Componentes	Descripción
Tecnología	Automatización	Analizar la adopción de tecnología para monitorear, controlar y ejecutar la producción de productos y servicios
	Conectividad	Medir el estado de interconexión entre equipos, máquinas y sistemas para la comunicación y el intercambio de datos activos.
	Inteligencia	Analizar el procesamiento y análisis de datos
Procesos	Operaciones	Analizar la planificación y ejecución de procesos para producir bienes y servicios.
	Cadena de abastecimiento	Analizar, desde el punto de origen hasta el consumo, la planificación y gestión de las materias primas y el inventario de bienes y servicios de una empresa.
	Ciclo de vida producto	Analizar las etapas por las que atraviesan los productos, desde el diseño hasta la retirada del mercado
Organización	Disponibilidad de talento	Analizar la capacidad de una empresa para permitir que la fuerza laboral mejore e impulse la adopción de la Industria 4.0
	Estructura y gerenciamiento	Analizar las políticas de una empresa para influir en los equipos e implementar iniciativas. Además, analizar la capacidad de una empresa para fomentar el trabajo en equipo y el liderazgo para lograr objetivos comunes.

Fuente: elaboración propia en base a artículos sobre MM

Tabla 5: Dimensiones modelo SIRI

Dimensión	Área estructural	Descripción
Integración vertical	Proceso -Operaciones	Evalúa la integración de procesos y sistemas en la jerarquía para la conectividad de un extremo a otro.
Integración horizontal	Proceso- Cadena de abastecimiento	Evalúa la integración organizativa de los procesos y las partes interesadas en la cadena de valor.
Ciclo de vida del producto integrado	Proceso - Ciclo de vida del producto	Evalúa la integración organizativa de los procesos y las partes interesadas en la cadena de valor. Analiza la recopilación, la gestión y el análisis de datos para cada etapa del ciclo de vida del producto

Automatización, Planta de producción, Empresa e instalación	Tecnología – Automatización, conectividad e inteligencia.	Evalúa el alcance y la integración de la automatización y los sistemas en las capas de la planta, la empresa y las instalaciones.
Conectividad: planta, empresa e instalación	Tecnología – Automatización, conectividad e inteligencia.	Evalúa la interconectividad entre equipos, máquinas y sistemas en todo el piso de producción, la empresa y las instalaciones.
Inteligencia: planta, empresa e instalación	Tecnología – Automatización, conectividad e inteligencia.	Evalúa la capacidad de los sistemas de tecnologías de la información (TI) y tecnología de operaciones (OT) en los niveles de planta, empresa e instalaciones en la identificación, el diagnóstico y la adaptación de desviaciones.
Aprendizaje y desarrollo de la fuerza laboral	Organización - Disponibilidad de talento	Evalúa el programa de aprendizaje y desarrollo de una empresa en términos de calidad.
Competencia de liderazgo	Organización - Disponibilidad de talento	Evalúa la gestión de una empresa para saber si está preparada para aprovechar nuevos conceptos y tecnologías para seguir siendo relevante y competitiva.
Colaboración entre empresas y interna	Organización - Estructura y gerenciamiento	Evalúa el proceso de una empresa para permitir que los equipos internos y externos colaboren en un objetivo común.
Estrategia y gobernanza	Organización - Estructura y gerenciamiento	Evalúa las políticas de una empresa con respecto a los objetivos a largo plazo, como la identificación de prioridades y hojas de ruta tecnológicas.

Fuente: elaboración propia en base a artículos sobre MM

Comparando los MM de Acatech y Siri se encuentra un nivel elevado de similitud entre los mismos. Pero Siri tiene mayor nivel de complejidad basado en la cantidad de dimensiones que aborda y el uso de múltiples escalas para diferentes niveles es además más detallado en su apartado metodológico [18]. Es relevante destacar en las etapas para la implementación SIRI tiene una etapa de puesta en común de temáticas y terminologías claves a fin de hablar un lenguaje común entre la empresa y evaluadores lo cual lleva a un nivel de precisión superior en los datos aportados y reduce errores relacionados con la comprensión.

A continuación, a fin de cumplir con los objetivos del trabajo se selecciona el modelo Acatech para evaluar en algunos aspectos a la muestra de empresas relevadas en la provincia de Entre Ríos.

2. METODOLOGIA

El presente estudio es de carácter exploratorio y corresponde con la primera fase de un proyecto de investigación que tiene como objeto relevar el estado de implementación de tecnologías de industria 4.0 de las industrias de la provincia de Entre Ríos. Se realizará un análisis de datos primarios de firmas del Gualeguaychú, Uruguay y Concordia de los cuales fueron relevadas 44 (cuarenta y cuatro) durante el segundo trimestre del año 2019 y datos secundarios aportados por los organismos de la provincia de Entre Ríos y cámaras empresariales. A partir de los mismos, se realizará un análisis descriptivo sobre las tecnologías implementadas relacionadas a la industria 4.0 a fin de lograr clasificar el estado de avance de las industrias en base al MM Acatech. El formulario único se aplicó con encuestador en forma presencial, en las firmas de mayor porte hubo instancias auto administradas y luego con un chequeo de la información por parte de un encuestador.

En el módulo sobre Incorporación de Tecnologías 4.0 se evaluaron componentes del modelo de madurez de las dimensiones: Producto, Operaciones y Tecnología. Y características relacionadas con la industria 4.0 como son: sistemas ciber físicos, análisis en tiempo real, virtualización, descentralización, IOT y robótica.

Dada que la encuesta no fue diseñada para relevar el Modelo Acatech el análisis se limitará al nivel al área funcional de producción, en cuanto al apartado recursos (capacidades digitales) y sistema de información (Auto aprendizaje y procesamiento e Integración del sistema de información).

Variables del estudio

Recursos

Capacidades digitales

Hardware de Control (PLC, DCS, CNC, PAC, RTU)
 MDC recopilación de datos de una máquina
 PDA adquisición de datos de producción
 M2M Coordinación de equipos de producción a través de red
 MES Sistemas de Ejecución de Manufactura
 Herramientas de análisis de datos en la nube.
 Programas en la nube (cloud computing) como reemplazo del sistema local.

Sistemas de información

Auto aprendizaje y procesamiento

Análisis estadístico de datos locales para toma de decisiones.
 Herramientas de análisis de datos en la nube.
 Sistema de control avanzado (inteligencia artificial, red neuronal, etc..).
 Simulación de sistemas de producción o distribución.

Integración del sistema de información

MRP Sistema de planificación de materias primas.
 ERP Sistema de planificación de recursos.
 BPM Software.
 Posee departamento de Sistemas (IT)

Se utilizarán promedios simples para la realización la escala será la siguiente

Tabla 6: *Escala del modelo de medición*

Nivel	1	2	3	4	5	6
MM	Informatización	Conectividad	Visibilidad	Transparencia	Predictivo	Adaptable
Valor	0,00 – 0,16	0,17 – 0,33	0,34 -0,40	0,41 – 0,57	0,58 – 0,74	0,75 – 1,00

Fuente: elaboración propia

A partir de estas variables y su escala se realizan análisis descriptivos a fin de posicionar las firmas en los diferentes niveles de desarrollo en cuanto a industria 4.0 en estos aspectos. A continuación, los resultados del estudio.

3. RESULTADOS

De los tres componentes analizados (Capacidades digitales, Auto aprendizaje y procesamiento, Integración del sistema de información) en promedio se da un bajo desempeño de acuerdo al MM alcanzando el nivel dos como máximo. Lo cual lleva a pensar en un bajo nivel de desarrollo en los componentes evaluados (Tabla 7).

Tabla 7: *Resultados promedios muestrales para el área de producción*

Nivel MM	1 Informatización	2 Conectividad	3 Visibilidad	4 Transparencia	5 Predictivo	6 Adaptable
Capacidades digitales	-	0,22	-	-	-	-
Auto aprendizaje y procesamiento	0,79	-	-	-	-	-
Integración del sistema de información	-	0,18	-	-	-	-

Sí se realiza el mismo análisis de acuerdo a frecuencias por clase o nivel del MM de los casos de la muestra, se visualiza un panorama más diverso. Si bien la mayor parte de las empresas siguen posicionándose en los niveles uno y dos, hay un pequeño grupo de empresas que logra posicionarse en los niveles superiores incluso alcanzando el nivel seis (Tabla 8).

Tabla 8: *Resultados por porcentaje de casos muestrales para el área de producción*

Nivel MM	1 Informatización	2 Conectividad	3 Visibilidad	4 Transparencia	5 Predictivo	6 Adaptable
Capacidades digitales	53,50	27,90	0,00	9,30	7,00	2,30
Auto aprendizaje y procesamiento	75,00	18,20	0,00	6,80	0,00	0,00
Integración del sistema de información	54,54	25,00	0,00	13,63	0,00	6,81

3.1 Discusión, obstáculos a la automatización

En la realización de los cuestionarios, se dio un intercambio con los empresarios en cuanto a las dificultades para implementar 4.0. Los motivos más frecuentes fueron la antigüedad e incompatibilidad de los equipos que poseen, seguido por la elevada escala de los nuevos equipos y la incertidumbre sobre la evolución del mercado al cual van destinados sus productos. De la lectura de la bibliografía internacional referente a la temática de obstáculos para la automatización y digitalización de empresas los principales son: a) Elevado costo de inversión y riesgo financiero relacionado, b) Problemas de integración y compatibilidad de nuevos equipos y sistemas, c) Falta de estándar consolidado y arquitecturas comunes que aseguren la compatibilidad entre los nuevos equipos, d) Falta de interés y comprensión sobre los beneficios de la digitalización en las empresas, e) Baja formación de los empleados de las competencias necesarias para el uso y mantenimiento de tecnologías 4.0 y finalmente problemas de seguridad y privacidad de los datos digitales [19, 20, 21].

Lo anterior exhibe una amplia variedad de temáticas que afectan la implementación de tecnologías 4.0, aunque del análisis de la bibliografía y tendencias en sectores empresariales internacionales parece claro que los procesos de digitalización y los procesos inteligentes no son una moda y serán la nueva forma de producción. Como surgió la división del trabajo, la línea de montaje y la estandarización entre otras. Tecnologías que en principio fueron incomprendidas o resistidas, pero una vez que fueron parte del mercado condicionaron a los incumbentes a implementarlas o perder su posición o incluso desaparecer de los mismos.

Por lo cual surge la duda de si la expansión del uso de los MM en industria 4.0, ¿podría ser una herramienta para la implementación en las empresas?, como en algún momento lo fueron los sistemas normas ISO para la difusión y uso de la calidad como herramienta. Otra pregunta resultante de un camino lógico es, ¿Sí en algún momento el nivel de madurez de tecnologías 4.0 será una barrera para el ingreso a determinados mercados?

4. CONCLUSIONES

El crecimiento de la industria 4.0 y la digitalización de empresas es un proceso sostenido por lo cual será relevante para el futuro de las firmas industriales de la provincia de Entre Ríos, como de las del resto del país implementar estas tecnologías a fin de ser competitivos en el mercado.

No todas las empresas tienen las capacidades para dar el salto hacia el uso de tecnologías Smart Factory por diferentes motivos. Entre los más relevantes están: los elevados costos de implementación, las escalas de producción, la incertidumbre sobre el comportamiento del mercado y en numerosos casos la presencia de equipos antiguos de difícil actualización y comunicación con nuevas tecnologías. Este diagnóstico no es solo del caso de las empresas analizadas en el trabajo, sino que se da en otros lugares del planeta.

Los MM son herramientas de diagnóstico y aplicación complejas. Dada la necesidad tener capacidades de conocimiento tanto tecnológicas, como de análisis sociológico y de negocios para aplicarlas con exactitud. Dado la cantidad de información que se debe recoger tanto de cuestiones técnicas, como de recursos humanos y negocios. Los resultados de los diagnósticos de las mismas son una excelente guía para gerentes para la toma de decisiones de caminos hacia la implementación de nuevas tecnologías.

Los MM tanto de Acatech como de SIRI son sistemas integrales de diagnóstico empresarial y pueden constituirse en herramientas de mejora para el desempeño empresarial como son hoy las familias de normas ISO de aseguramiento de la calidad. Pero no son de uso extendido como estas últimas.

Si bien el estado y las diferentes cámaras empresariales están haciendo esfuerzos por divulgar la presencia y la necesidad de la modernización con respecto a las nuevas tecnologías a un gran número de empresas, aún les falta trabajo para lograr un elevado nivel de implementación. Sobre todo, si se tiene en cuenta el caso de empresas que tienen elevado nivel de implementación en una parte ejemplo producción y una completa ausencia en otras partes esenciales como logística o comercialización el proceso se vuelve complejo.

Por lo anterior es importante lograr la implementación de estos modelos o de alternativas de menor complejidad adaptadas al ecosistema de empresas local, que les permitan una evolución en el sendero de la automatización y digitalización a fin de que sean competitivas y no queden relegadas en el mercado en el cual se incluyen.

5. REFERENCIAS

- [1] Casalet, M. (2018). "La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa. Estudios de casos", Documentos de Proyectos (LC/TS.2018/95), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- [2] AA.VV. (2021). Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0. Ministerio de desarrollo productivo de argentina.
- [3] Zhang, P. (2010) Advanced Industrial Control Technology. Elsevier. 1st Edition. ISBN: 9781437778083
- [4] Frenzel, L. (2017). Electronics Explained 2nd Edition. Fundamentals for Engineers, Technicians, and Makers Elsevier. eBook ISBN: 9780128118795.
- [5] Verkasalo, H. (2009). Analysis of mobile internet usage among early-adopters. Vol. 11 No. 4, pp. 68-82. <https://doi.org/10.1108/14636690910970982>
- [6] Levä, T., Hämmäinen, H. y Kilkki, K. (2009). Scenario Analysis on Future Internet. First International Conference on Evolving Internet, 2009, pp. 52-59, doi: 10.1109/INTERNET.2009.15.
- [7] Yadav, R. (2017). Challenges and Evolution of Next generation. Wireless Communication Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017 Vol II, IMECS 2017, Hong Kong.
- [8] Hermann, M.; Pentek T. & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Koloa, HI, pp. 3928-3937.
- [9] Reiner A. & Jürgen F. (2016) Guideline Industrie 4.0.
- [10] Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). Journal of Manufacturing Systems, 49, 194-214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- [11] Rauch, E.; Stecher, T.; Unterhofer, M.; Dallasega, P. & Matt, D. (2019). Suitability of Industry 4.0 Concepts for Small and Medium Sized Enterprises: Comparison between an Expert Survey and a User Survey. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok, Thailand, March 5-7,
- [12] Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., Morales, M. (2021) Industry 4.0 Ten Years On: A Bibliometric and Systematic Review of Concepts, Sustainability Value Drivers, and Success Determinants, Journal of Cleaner Production
- [13] Canetta, L., Barni, A., Montini, E. (2018). Development of a digitalization maturity model for the manufacturing sector. In: 2018 IEEE international conference on engineering, technology and innovation (ICE/ITMC). IEEE, pp. 1–7
- [14]. Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M., Wahlster, W. (2017). Industrie 4.0 maturity index: managing the digital transformation of companies. Utz, Herbert.
- [15] Kagermann, H.; Wahlster, W. & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Frankfurt: Acatech-National Academy of Science and Engineering.
- [16] Schmitz, S. (2020). Industrie 4.0 at scale How to transform manufacturing companies. i4.0MC - Industrie 4.0 Maturity Center GmbH.
- [17] Singapore Economic Development Board (2020). The Singapore smart industry readiness index. Catalysing the transformation of manufacturing.
- [18] Singapore Economic Development Board (2020). The Prioritisation Matrix. Catalysing the transformation of manufacturing.

[19] Kamble, S. S., Gunasekaran, A., and Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107-119.

[20] Müller, J. M. (2019) Assessing the barriers to Industry 4.0 implementation from a workers' perspective, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 52, Issue 13, pp. 2189-2194, ISSN 2405-8963.

[21] E. Rauch, P. Dallasega and M. Unterhofer, (2019). Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises. In *IEEE Engineering Management Review*, vol. 47, no. 3, pp. 87-94, 1 thirdquarter, Sept.