

Modelos de madurez en industria 4.0 alternativa de medición y diagnóstico para empresas pymes

Autores: Blanc, Rafael Lujan*; Lepratte, Leandro; Rodríguez, Alejandra; Hegglin, Daniel

Contacto: *rafaellujanblanc@yahoo.com.ar

País: Argentina

Resumen

Las tecnologías de la Industria 4.0 desempeñan un rol importante en la competitividad empresarial a nivel mundial. A partir de su difusión surgen una serie de *modelos de madurez*. Estos modelos miden el grado de implementación de estas tecnologías 4.0, permitiendo diagnosticar y proponer planes para elevar su aplicación en las industrias. Los modelos de madurez por su complejidad metodológica y las necesidades de conocimiento que implica su medición se tornan costosos y difíciles de afrontar en pymes.

El desarrollo de métodos de medición efectivos de avance de la implementación de tecnologías 4.0 en empresas pymes es una necesidad de investigación, ya que si bien existen publicaciones sobre la temática las mismas abordan en general enfoques teóricos exclusivamente y orientados a grandes empresas. La falta de modelos de diagnóstico de grados de adopción de tecnologías 4.0 para pymes ha sido evidenciado en economías en desarrollo como así también en desarrolladas.

Nuestro trabajo tiene por objetivo proponer un instrumento de diagnóstico y una metodología de evaluación de los resultados de grados de madurez en la implementación de tecnologías de Industria 4.0 para pymes.

Para esto se efectúa, en primer lugar, un análisis de los modelos de madurez más relevantes que se aplican a nivel mundial, sus ventajas y dificultades en la aplicación a pymes.

Luego se desarrolla un instrumento (dimensiones, variables y escalas) para posicionar en qué grado de avance de la aplicación de tecnologías de automatización, captación y análisis de datos de negocio se encuentra la empresa y una metodología de evaluación (ordenamiento, agregación y escalas) de los resultados de este.

Finalmente se plantean recomendaciones para la implementación del Instrumento por parte de gestores tecnológicos en pymes.

Palabras claves: industria 4.0; modelo de madurez; diagnostico; roadmap; ACATECH.

1. Introducción

El concepto “Cuarta Revolución Industrial” se ha instalado a nivel internacional como un marco sociotécnico para la mejora de la productividad en la industria manufacturera y como motor de desarrollo económico mediante la expansión de las firmas de soporte tanto en hardware como software industrial. El paquete de industria 4.0 (I40) es la combinación de tecnologías físicas (hardware de control y comunicación) y tecnologías digitales software (para la toma, gestión y análisis de datos). La “Industria 4.0”, comenzó a generalizarse a partir del 2010 y progresivamente se hizo relevante para sectores y empresas (Casalet, 2018; AA.VV., 2021). Las herramientas y enfoques de I40 se difunden dado que algunos cambios logran impulsarla. 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 otro lado, la evolución de la implementación de computadoras personales y la penetración de Internet, 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 (Verkasalo, 2009; Levä, Hämmäinen y Kilkki, 2009; Yadav, 2017).

Las tecnologías que componen la I40 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 (Hermann, Pentek y Otto, 2016; Reiner y Jürgen, 2016; Mittal et al., 2018; Rauch et al., 2019; Ghobakhloo et al., 2021).

Con el fin de comprobar el grado de avance de las empresas en los procesos de implementación de I40 cobran importancia 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, que van desde procesos dentro de la organización a impactos tecnológicos y metodológicos en el negocio y hasta por los recursos humanos y la gestión de la organización.

Sin embargo, los MM se han diseñado en líneas generales para ser aplicados a grandes firmas y por tanto, su adecuación al contexto de las pymes es un requerimiento planteado a nivel global (Nick, Szaller y Várgedó, 2020; Schuh et al, 2021). La pregunta central de este trabajo es ¿qué dimensiones y/o factores deben considerarse en MM para pymes?

Dada la importancia de lo anterior, el objetivo del trabajo es proponer un instrumento de diagnóstico y una metodología de evaluación de los resultados de grados de madurez en la implementación de tecnologías de I40 para pymes. El trabajo se estructura de la siguiente forma a continuación se exponen los antecedentes de los modelos de medición, luego se presenta la metodología del trabajo seguido de la descripción del modelo de medición en el apartado resultados. Finalmente, en la discusión y conclusiones se reflexiona sobre lo alcanzado hasta el momento y próximos pasos para la mejora de la medición e implementación.

2. Antecedentes

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 I40. Los datos se obtienen a través de cuestionarios que tratan sobre el estado de la transformación digital, el análisis de los procesos principales y entrevistas con el personal involucrado para identificar brechas tanto de los procesos como de las skills. El resultado del análisis se utiliza para estimar el nivel de madurez tecnológica de la organización y sus áreas correspondientes (Canetta, Barni y Montini, 2018). Las métricas de nivel de madurez pueden permitir la comparación entre varias organizaciones consideradas en términos de los niveles. Es importante su aporte para el desarrollo de las hojas de rutas (planificaciones), que permiten a las empresas iniciar la transformación en post de la implementación de la I40.

2.1. Modelo Acatech

Uno de los MM más utilizados es el de Acatech perteneciente a la Academia Alemana de Ciencia e Ingenie-

ría. (Schuh et al., 2017; Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013; Schmitz, 2020) permite a las organizaciones identificar su estado respecto a la etapa de digitalización hacia la I40. Las evaluaciones se realizan en el contexto de la organización, con un enfoque en los procesos de fabricación y el ambiente sociotécnico asociado al mismo. El proceso de aplicación es en tres fases: fase de diagnóstico, plan de mejoras o desarrollo de capacidades, finalmente planificación para su aplicación. Los niveles en que puede estar las diferentes áreas estructurales son seis, siendo el primero el de menor desarrollo y el sexto el de máximo. Las denominaciones de las etapas son: Informatización, conectividades, Visibilidad, Transparencia, Capacidad predictiva y finalmente Adaptabilidad.

TABLA 1. Áreas estructurales Acatech

Áreas	Componentes	Descripción
Recursos	Capacidades digitales	Competencias de los empleados en información digital, presencias de sensores y actuadores para digitalización en tiempo real de datos y el procesamiento descentralizado de los datos.
	Comunicaciones estructuradas	Sistemas de comunicación eficientes y trazables de unívoca interpretación
Sistemas de información	Autoaprendizaje y procesamiento	Calidad y disponibilidad de la información (procesamiento, análisis y almacenamiento local y en 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 (manejo ágil de grupos y equipos de trabajo, los sistemas de motivación de empleados, toma de decisiones liderazgo, comunicación)
	Colaboración con la cadena de valor	Analiza la estructura de recursos humanos, si 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 2. Áreas funcionales Acatech

Área funcional	Descripción	Áreas estructurales
Desarrollo	Aspectos relacionados a la creación y puesta en marcha de nuevos productos y servicios.	Recursos
		Sistema de Información
		Estructura Organizacional
		Cultura
Producción	Aspectos relacionados 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 externes 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.

2.2. Modelo industria inteligente de Singapur (SIRI)

El Índice de preparación para la industria inteligente de Singapur (SIRI) (SEDB, 2020a; SEDB, 2020b) es un MM que se creó para ayudar a las empresas a comprender los beneficios de la I40 mediante la identificación de las debilidades y los pasos necesarios para la adopción. Consta de cuatro pasos: primero aprender conceptos claves y crear un lenguaje común, segundo evaluar los niveles de madurez actuales de la I40 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: Tecnología, Procesos y Organización, que están respaldadas por ocho componentes claves. Para evaluar a las empresas que utilizan SIRI, a las tres áreas fundamentales se le incorporan ocho componentes, como se muestra en las Tablas 3 y 4.

TABLA 3. 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 I40
	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 4. 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.

Teniendo en cuenta el contenido de los modelos, estos evidencian alto grado de detalle en cuanto al nivel de medición, pero paradójicamente resultan de elevada complejidad en su implementación, en particular en pymes. Tienen dificultad de no tener publicados los formularios de relevamiento y los modelos de cálculo de resultados lo cual hace que deba solicitarse una consultoría entrenada para poder aplicarlos. Por esto se necesitan modelos sencillos y de libre difusión que den un diagnóstico a fin de establecer una hoja de ruta para pymes. A continuación se detalla la metodología para el instrumento propuesto en el presente trabajo.

3. Metodología

La metodología adoptada para el desarrollo del modelo de madurez de este estudio se basó en Acatech y Siri (Schuh et al., 2017; Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013; Schmitz, 2020; SEDB, 2020a; SEDB, 2020b)¹. Estos son aplicables a industrias heterogéneas lo cual los hace convenientes como referencia de medición de I40. Para la realización del modelo se propuso una secuencia de *cinco etapas iterativas*. Las etapas de diseño y cogeneración del modelo fueron las siguientes: E1 Objetivo y definición, E2 Diseño instrumento de medición, E3 Componentes del modelos y validación, E4 Implementación y E5 Publicación.

Etapa 1 - Objetivo y definición, se consideraron las definiciones del ámbito del modelo y la combinación de definiciones que configuran las fronteras de los componentes del mismo. Las principales definiciones se focalizan las características de las empresa de tipo pyme. En base a las mismas se definió un instrumento sencillo y entendible para la organización, de fácil aplicación y que permita indicar un grado de desarrollo en I40.

Etapa 2 - Diseño del instrumento de medición, a partir de lo expuesto en la E1 se realizó un primer formulario piloto que cuenta con cinco bloques de preguntas de diagnóstico: A) Hardware y Redes, B) Recursos Humanos, C) Software y Sistemas de Información, D) Producto y F) Cultura y Estrategia. Luego se seleccionaron las variables contenidas en cada bloque.

Etapa 3 - Componentes del modelos y validación, el formulario es sometido a diferentes procesos como los siguientes: adaptación cultural, consistencia interna, escala y especificidad de las variables, validez de las variables tanto para expertos como población objetivo. Durante estos procesos se realizó un pre test del instrumento en cinco casos² a fin de detectar errores de interpretación por parte de los encuestados, y dificultades de carga y errores en alternativas y valores de las variables. Además, fue sometido a la valoración de expertos conformados por profesionales pertenecientes a empresas de implementación de tecnología 4.0³.

Etapa 4 – Implementación, actualmente se encuentra en la etapa de utilización del formulario en la medición⁴. Por otra parte, se trabaja en el diseño de la metodología de consolidación de resultados escalas, niveles y pesos asignados a los resultados.

Fase 5 – Publicación, finalmente se liberará el formulario y la metodología de medición para su utilización por empresarios y académicos para su mejora y como herramienta de diagnóstico.

A continuación, en el apartado resultados se describe parte de la Etapa 4 del diseño de la metodología consolidación de resultados escalas, niveles y pesos asignados a los valores de las variables a fin exponer los procedimientos a otros interesados para obtener feedback para la mejora.

4. Resultados

Para plantear una alternativa a los modelos de mayor complejidad como SIRI y ACATECH se propone un modelo de complejidad media que abarca cuatro grandes dimensiones: Hardware, Software, Recursos Humanos y Estrategia. Para el análisis de las mismas se realizará un relevamiento mediante un formulario semi cerrado a fin de evaluar cada dimensión y llevar a cabo un diagnóstico en conjunto del estado de la firma.

1. El core teórico del modelo se sustenta en los enfoques Acatech y Siri. Además, posee aportes teóricos del ámbito de los estudios organizacionales sobre dinámica de rutinas (D'Adderio, 2014), cogeneración de capacidades (Finnstrand, 2023) y transiciones hacia la digitalización de productos y/o servicios (Bustanza et al., 2019).

2. Los cinco casos fueron seleccionados por un diseño aleatorio simple son pymes del sector de la provincia de Entre Ríos y Santa Fe y se realizó en el marco del proyecto "Evaluación y diseño de modelos de madurez para industria 4.0 orientados a pymes".

3. Se presentó el formulario a tres empresas de implementación de soluciones tecnológicas y a cinco profesionales independientes de este sector a fin de evaluar su pertinencia.

4. Se está aplicando a firmas actualmente; se encuentran relevados doce casos de diferentes rubros pertenecientes al nivel pymes. Se pretende alcanzar veinte casos que sean de diversos tamaño y nivel tecnológico a fin de analizar la variabilidad de resultados del instrumento.

TABLA 5. Bloques del modelo simplificado de diagnóstico*

Software	Hardware
Presencia y nivel de uso de: Sistemas SCADA. Sistemas MES. Sistemas MOM. Sistemas MRP II Sistemas ERP. Sistemas CRM. Software de simulación y análisis estadístico Software de programación (python y r). Nivel de uso de los datos recolectados por lo sistemas de software.	Redes de comunicación (físicas e inalámbricas) Servidores (internos y/o cloud) Hardware de control. Interfaces de control. Sistemas identificación (QR, Barra, Rfid) Manufactura aditiva. Robótica. Nivel de interacción de los apartados anteriores con el software.
RR.HH.	Producto
Disponibilidad de profesionales relacionados a I40, cantidad y dedicación a la firma. Contratación de consultoría o staff en I40. Entrenamiento en temática de I40. Debilidades actuales del personal en relación a I40.	Es inteligente de alguna forma Posee sensores. Posee memoria. Almacena datos de uso. Almacena datos de estado y ubicación. Comunica datos de estado y ubicación. Comunica datos de uso.
Cultura y Estrategia	
Interés y objetivos definidos por la gerencia en transformación hacia la I40. Conocimiento de su nivel tecnológico. Conocimiento de los líderes de su sector. Sistema de vigilancia tecnológica. Nivel de inversión en I40. Interés o propuestas de incrementar el nivel tecnológico hacia I40 del producto y/o servicios.	

Fuente: Elaboración propia.

*Los componentes son enunciados generalizados de los contenidos dado que debido a cantidad es complejo agruparlos dentro de una tabla.

Considerando la bibliografía sobre I40 y los modelos de madurez analizados se puede plantear que una empresa tiene cuatro estadios. El primero I es la ausencia de tecnologías 4.0 en el cual no se cuenta con los drivers para esta industria como son el hardware y el software necesario. Estadio II en donde se posee los drivers y se toman datos, pero se hace uso escaso o básico de los mismos (indicadores sencillos). En el estadio III rutinas avanzadas la empresa posee datos y personal con capacidad de hacer uso de los mismos en modelos de predicción, simulación y otros análisis. Estas rutinas le permiten no solo percibir la situación actual si no proponer mejoras a futuro. Finalmente, en el estadio IV expansión la empresa tiene incorporado el uso de tecnologías como parte de la lógica de negocio y tiene una política de difusión de la misma hacia sus proveedores y clientes logrando un proceso de digitalización amplio.

TABLA 6. Comportamiento de los bloques para los estadios

I Ausencia	II Control de datos	III Rutinas avanzadas	IV Expansión
Bajo desempeño en los bloques de Software y Hardware. Escasas capacidades en los RR.HH. y faltas de Cultura y Estrategia hacia 4.0.	Buen desempeño en los bloques de Software y Hardware. Escasas capacidades en los RR.HH. y faltas de Cultura y Estrategia hacia 4.0.	Excelente desempeño en los bloques de Software y Hardware. Correctas o elevadas capacidades en los RR.HH. y presencia de Cultura y Estrategia hacia 4.0	Excelente desempeño en los bloques de Software y Hardware. Elevadas capacidades en los RR.HH. y una arraigada Cultura y Estrategia hacia 4.0.

Fuente: Elaboración propia.

Se toma a las dimensiones hardware, software y producto como de nivel 1 dado que son las bases de cualquier sistema de I40 por lo cual sin las mismas este tipo de industria no puede existir. Por su parte las mismas se encuentran sometidas al manejo por parte de los recursos humanos y el uso de sus datos en post de la mejora de la firma. El nivel 3 o estrategia tiene que coordinar y visualizar oportunidades de mejora tanto para el nivel 1 como el 2.

TABLA 7. Relaciones entre las dimensiones

Nivel	Relación entre los componentes		
3	Estrategia		
2	Recursos Humanos		
1	Hardware	Software	Producto

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las dimensiones se desarrollan los bloques de variables que se dividen en niveles de implementación. Dado que algunos de los bloques soportan un nivel básico de uso, un nivel intermedio y finalmente un superior o avanzado dependiendo de la complejidad de implementación de 4.0.

TABLA 8. Bloques rango de valores de acuerdo al nivel de implementación

BLOQUES	TECNOLOGÍAS BASE (DRIVERS)	RUTINAS INTERMEDIAS	RUTINAS SUPERIORES	TOTAL BLOQUE
Hardware	0-11	0-3		0-14
Software	0-5	0-9	0-4	0-18
Recursos Humanos	0-6	0-2		0-8
Productos ⁵	0-6	0-1		0-7
Cultura y Estrategia		0-4	0-5	0-9
Total Nivel	0-22/28	0-15/16	0-9	

Fuente: Elaboración propia.

A fin de lograr un valor global que sería útil sobre todo para clasificar y comparar firmas se utiliza un promedio ponderado que reduce las variables analizadas en los resultados por columna de la Tabla 8 a un valor único. *Nivel global Implementación 4.0.*: $0,2^*$ Tecnologías Base + $0,3^*$ Rutinas intermedias + $0,5^*$ Rutinas Superiores.

TABLA 9. Nivel global Implementación 4.0 rangos por estadio

	I Ausencia	II Control de datos	III Rutinas avanzadas	IV Expansión
Sin bloque producto	0 - 3,350	3,360 - 6,700	6,710 - 10,050	10,060 - 13,400
Con bloque producto	0 - 3,725	3,726 - 7,450	7,451 - 11,175	11,176 - 14,900

Fuente: Elaboración propia.

Como herramienta de diagnóstico interno será valioso para la empresa el uso de los niveles de bloques y niveles de rutinas y tecnologías en forma individual. Son relevantes por las variables que los componen para poder desarrollar los planes de mejora dentro de la firma.

5. El bloque producto puede existir o no dentro de los valores resultantes dependiendo que tipo de industria al que se aplique el formulario. Hay productos que no admiten implementación de tecnologías asociadas al internet de las cosas (IoT) ejemplos de ellos son los alimentos envasados, piezas de metal y madera, entre otros.

TABLA 10. Niveles de rendimiento por bloque y rutinas

	I	II	III	IV
Hardware	0 - 3,5	3,6 - 7,0	7,1 - 10,5	10,6 - 14
Software	0 - 4,5	4,6 - 9,0	9,1 - 13,5	13,6 - 18
Recursos Humanos	0 - 2,0	2,1 - 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8
Productos	0 - 1,75	1,76 - 3,50	3,51 - 5,25	5,26 - 7
Cultura y Estrategia	0 - 2,25	2,26 - 4,5	4,6 - 6,75	6,76 - 9
Tecnologías Base	0 - 7,00	7,1 - 14,00	14,10 - 21,00	21,10 - 28
Rutinas intermedias	0 - 4,00	4,10 - 8,00	8,10 - 12,00	12,10 - 16
Rutinas Superiores	0 - 2,25	2,26 - 4,50	4,51 - 6,75	6,76 - 9

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente apartado se destacan los aprendizajes e interrogantes que se obtuvieron durante el proceso del desarrollo del trabajo.

5. Conclusiones y discusión

La I40 es un conjunto de tecnologías que son el paradigma actual de producción por lo cual es importante que las empresas para mantener su posición en el mercado las implementen. Esto hace relevante los modelos de madurez como herramienta de diagnóstico, permitiendo a las firmas planificar mejoras en su nivel de utilización y aprovechamiento tecnológico.

Los MM SIRI y ACATECH son robustos y permiten excelentes diagnósticos del estado de una empresa en cuanto a utilización de tecnologías. Pero tienen la desventaja de que los formularios de diagnóstico no están disponibles al público, ni los modelos de conformación de escalas y es necesario un equipo de consultoría para su implementación. Lo anterior hace que las pymes tengan dificultades para acceder a los mismos.

La cantidad de componentes, dimensiones y sus relaciones que se deben evaluar a fin de establecer el grado de avance tecnológico de una empresa, hacen que el planteo de un modelo medición sea un trabajo complejo y que necesita de múltiples actores para su proceso de validación a fin de evitar errores en los resultados obtenidos.

En este trabajo se hace una primera aproximación al desarrollo de escalas internas y externas a partir del instrumento de medición para el posicionamiento de la empresa en un grado de madurez. El mismo será sometido a subsiguientes iteraciones y mejoras a partir del trabajo con los datos y la exposición a académicos y profesionales que plantearan debilidades y propuestas de ajustes.

A futuro, se proseguirá con la consolidación de los resultados, los pasos para la implementación y la publicación de los mismos para que sean accesibles a pymes que deseen utilizarlos. Se evaluará la posibilidad del desarrollo de un sistema on line auto administrado que permita un auto diagnóstico ágil para los empresarios.

Referencias bibliográficas

AA.VV. (2021). *Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0*. Ministerio de desarrollo productivo de Argentina.
 Bustinza, O. F., Lafuente, E., Rabetino, R., Vaillant, Y. y Vendrell-Herrero, F. (2019). Make-or-buy configurational approaches in product-service ecosystems and performance. *Journal of Business Research*, 104, 393-401.

- Canetta, L., Barni, A. y Montini, E. (2018). Development of a digitalization maturity model for the manufacturing sector. En *2018 IEEE international conference on engineering, technology and innovation (ICE/ITMC)*, (pp. 1–7).
- 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).
- D'Adderio, L. (2014). The Replication Dilemma Unravelling: How Organizations Enact Multiple Goals in Routine Transfer. *Organization Science*, 25(5), 1325–1350.
- Finnestrand, H. (2023). *Creating a learning organization through a co-generative learning process – a Nordic perspective*. The Learning Organization.
- Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P. y 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*.
- Hermann, M.; Pentek T. y Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. En *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937).
- Kagermann, H.; Wahlster, W. y Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Acatech-National Academy of Science and Engineering.
- Levä, T., Hämmäinen, H. y Killki, K. (2009). *Scenario Analysis on Future Internet*. En *First International Conference on Evolving Internet* (pp. 52-59).
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D. y 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>
- Nick, G.; Szaller, A. y Várgedő, T. (2020). CCMS Model – a Novel Approach to Digitalization Level Assessment for Manufacturing Companies. En *European conference on management, leadership and governance*.
- Rauch, E.; Stecher, T.; Unterhofer, M.; Dallasega, P. y 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, 5-7 de marzo.
- Reiner A. y Jürgen F. (2016). *Guideline Industrie 4.0*.
- Schmitz, S. (2020). *Industrie 4.0 at scale How to transform manufacturing companies*. i4.OMC - Industrie 4.0 Maturity Center GmbH.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M. y Wahlster, W. (2017). *Industrie 4.0 maturity index: managing the digital transformation of companies*. Utz, Herbert.
- Singapore Economic Development Board (SEDB) (2020a). *The Singapore smart industry readiness index. Catalysing the transformation of manufacturing*.
- Singapore Economic Development Board (SEDB) (2020b). *The Prioritisation Matrix. Catalysing the transformation of manufacturing*.
- Verkasalo, H. (2009). *Analysis of mobile internet usage among early-adopters*, 11(4), 68-82.
- Yadav, R. (2017). Challenges and Evolution of Next generation. En *Wireless Communication Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol II)*. IMECS 2017, Hong Kong.