

El largo y sinuoso camino hacia la Industria 4.0 en pymes argentinas. Un análisis de Argentina en cuanto a la aplicación de industria inteligente[‡]

The long and winding road to Industry 4.0 in Argentine SMEs: An Analysis of Argentina's Implementation of Smart Industry

Rafael Lujan Blanc^{*}

Leandro Lepratte^{**}

María Alejandra Rodríguez^{***}

Damián Ratto^{****}

Resumen

La Industria 4.0 ha crecido en la discusión académica y las políticas de innovación debido a su atractivo por la disminución de costos y su impulso global. Se basa en tecnologías electrónicas y digitales que combinan máquinas, software y personas para objetivos comerciales, ofreciendo ventajas como trazabilidad y flexibilidad, pero también desafíos como formación constante y dependencia tecnológica. Su implementación es crucial para la competitividad, especialmente en pymes, que enfrentan obstáculos específicos y necesitan adaptarse tecnológicamente. Nuestro objetivo es describir y analizar niveles de madurez de implementación de la Industria 4.0 en pymes argentinas, identificando obstáculos e impactos. Se evaluó la implementación en empresas de Entre Ríos y Santa Fe, utilizando un formulario único que abarcó aspectos como sistemas ciber físicos, internet de las cosas y robótica. Se analizaron datos de 15 empresas entrevistadas entre 2022 y 2023, además de políticas e incentivos a través de revisión bibliográfica y datos secundarios. Los desafíos incluyen dificultades económico-financieras y dependencia de proveedores especializados. Se recomienda revisar los instrumentos de apoyo económico, crear programas de crédito escalonados y es crucial investigar y determinar las habilidades necesarias para los empleados en los procesos de industria 4.0 y la digitalización de pymes, facilitando la actualización y el reentrenamiento de la fuerza laboral. Se destaca la importancia de actualizar la educación técnica para incluir competencias relevantes para la I4.0, como programación, automatización y adquisición y analítica de datos.

[‡] Recibido 03 de noviembre de 2023 / Aceptado 16 de febrero de 2024.

^{*} Universidad Tecnológica Nacional, FRCU-GIDIC. Correo electrónico: rblanc@frcu.utm.edu.ar

^{**} Universidad Tecnológica Nacional, FRCU-GIDIC. Correo electrónico: leprattel@frcu.utm.edu.ar

^{***} Universidad Tecnológica Nacional, FRCU-GIDIC. Correo electrónico: rodriguez@frcu.utm.edu.ar

^{****} Universidad Tecnológica Nacional, FRCU-GIDIC e International Project Management MBA Program, Graduate School of Management, Kyoto University. Correo electrónico: damian.ratto.42m@st.kyoto-u.ac.jp

Palabras clave: Industria 4.0; Pymes; Cambio tecnológico; barreras y ventajas; políticas públicas.

Códigos JEL: M11; L60; L50; O31; O33.

Abstract

The Industry 4.0 has gained prominence in academic discourse and innovation policies due to its appeal stemming from cost reduction and global momentum. It is grounded in electronic and digital technologies that integrate machinery, software, and personnel for commercial objectives, offering benefits such as traceability and flexibility, alongside challenges like continuous training and technological dependency. Its implementation is paramount for competitiveness, particularly among small and medium-sized enterprises (SMEs), which encounter specific obstacles and require technological adaptation. Our aim is to describe and analyse levels of implementation maturity of Industry 4.0 in Argentine SMEs, pinpointing obstacles and impacts. Implementation was assessed in companies from Entre Ríos and Santa Fe, employing a comprehensive questionnaire covering aspects like cyber-physical systems, the Internet of Things, and robotics. Data from 15 interviewed companies between 2022 and 2023 were analysed, along with policies and incentives through bibliographic review and secondary data. Challenges encompass economic-financial difficulties and reliance on specialized providers. Recommendations include revising economic support instruments, establishing phased credit programs, and conducting crucial research to determine necessary skills for employees in Industry 4.0 processes and SME digitalization, facilitating workforce updating and retraining. The importance of updating technical education to incorporate relevant competencies for Industry 4.0, such as programming, automation, and data acquisition and analytics, is emphasized.

Keywords: Industry 4.0; SMEs; Technological Change; Barriers and Drivers; Public Policies.

JEL Codes: M11; L60; L50; O31; O33.

1. Introducción

En la discusión académica actual y en los planteos de políticas para el apoyo a firmas se ha dado un crecimiento sostenido sobre la denominada Industria 4.0 (I4.0). I4.0 es un paquete de tecnologías electrónicas y digitales que en su forma simplificada de divulgar resulta atractivo, tanto para los hacedores de políticas como para empresarios. Si bien las tecnologías que incorpora ese paquete no son nuevas, el abaratamiento de los costos, el progresivo acceso a grandes volúmenes de datos y el impulso de estas por los países centrales ha llevado a la expansión del término a nivel mundial. La misma corriente es denominada de otras formas dependiendo del país o región: “Internet industrial”, “Ciber fábrica” o “fábricas inteligentes”, “Manufactura Avanzada”, “Cuarta revolución industrial”, “industria del futuro” y finalmente “Cuarta revolución industrial”. Todos estos términos hacen referencia a un paquete de tecnologías que se basa sobre todo en los sistemas ciber-físicos. Estos sistemas son la combinación de máquinas, software y personas con objetivos comunes hacia cuestiones de negocio (Berger, 2016; Casalet, 2018; Kusiak, 2018; Yin et al., 2018).

Este nuevo paquete tecnológico tiene una serie de ventajas como: la trazabilidad, la información en tiempo real, la flexibilidad y adaptabilidad a los cambios, reducción de desperdicios y retrabajos. Pero también trae aparejados inconvenientes como necesidad de constante formación de los recursos humanos, elevados costos de mantenimiento y puesta a punto, y dependencia tecnológica (Dubey et al., 2019; Fragapane et al., 2020; Salunkhe y Fast-Berglund; 2020).

Dado el progreso de la I4.0 a nivel regional y mundial, se vuelve un componente clave para competir en los mercados, aunque no sea en forma completa su implementación. En este sentido, la literatura evidencia que el proceso de transferencia y adopción del paquete de tecnologías I4.0, presenta obstáculos para ser incorporados en especial en pymes. Estudios recientes identifican problemas específicos a las características de las pymes como así también factores de entorno nacional y regional para impulsar los procesos de cambio tecnológico en las mismas (Mogos et al., 2019; Rauch, Dallasega y Unterhofer, 2019; Motta, Morero y Ascúa, 2019).

La implementación de la Industria 4.0 en pymes genera un impacto integral, a nivel tecnológico, de rutinas organizacionales y de gestión. La introducción de tecnologías avanzadas como automatización, inteligencia artificial y robótica, remodelan procesos, dando lugar a interacciones renovadas entre máquinas y humanos (Feldman et al., 2021; D'Adderio, 2011), lo que requiere la adquisición de nuevas habilidades por parte del personal que enfrentan la demanda de competencias digitales, análisis de datos y toma de decisiones informadas (Bonekamp y Sure, 2015; Shuttleworth et al., 2022; Matthes et al., 2023). Operativamente, la I4.0 mejora la conectividad entre empleados, equipos y áreas, impactando en los procesos y gestión de las firmas. La transformación hacia la I4.0 remodela las rutinas organizativas, logrando eficacia operativa (Trinks, 2021; Shivam y Gupta, 2022).

Conforme a este contexto y los estudios previos, nos preguntamos: ¿cuál es el grado de adopción del paquete de tecnologías I4.0 en pymes de Argentina?, ¿qué obstáculos y qué impactos se están evidenciando en aquellas que se encuentran adoptando este tipo de tecnologías en sus procesos productivos y organización en general?

Tenemos como objetivo describir y analizar niveles de madurez de implementación del paquete tecnológico I4.0 en pymes de Argentina, e identificar los principales obstáculos e impactos. En base a esto, un alcance complementario es analizar instrumentos públicos de estímulos a la transformación digital o I4.0 y su relación con los procesos que están llevando adelante las pymes.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La relación entre pyme y I4.0 se presenta en la sección 2. Las barreras a I4.0 en la sección 2.2. En la sección 2.3 se presentan políticas e incentivos a I4.0, luego en la sección 2.4 se detalla el impacto de la I4.0 en las pymes. A continuación, en la sección 3 se hace una reseña de los modelos de madurez para I4.0. En la siguiente sección 4 se detalla la metodología con la que fue realizado el trabajo. En 5 se analizan los resultados hallados en industrias pymes relevadas. En la sección 6 se describen los instrumentos de apoyo a la I4.0 en Argentina. Finalmente, en las secciones 7 y 8 se plantea la discusión de los hallazgos y, en última instancia, se concluyen con otras sugerencias de trabajo.

2.1. Pymes y tecnologías Industria 4.0

Una pyme en Argentina es una empresa que realiza sus actividades en diferentes sectores: servicios, comercial, industrial, agropecuario, construcción o minero. Factura entre un millón setecientos mil y un millón ochocientos mil dólares anuales y con una cantidad de empleados que va de sesenta a seiscientos cincuenta y cinco empleados¹. Esto hace que la homogeneidad interior del sector pyme sea relevante por facturación y tamaño, pero con diversidad de trayectorias tecnológicas, organizacionales y de gestión.

Sin embargo, se observan claros contrastes entre el sector pyme y el sector de grandes empresas que afectan la implementación de la I4.0. Las pymes tienen claras diferencias con las grandes empresas en cuanto a su funcionamiento y escala que condicionan la aplicación de las nuevas tecnologías disponibles en el mercado (Müller y Voigt, 2017; Mittal et al., 2018; Majstorovic et al., 2021).

A continuación, en la Tabla 1 se resumen las diferencias esperadas de acuerdo con el tamaño:

Tabla 1: Diferencias entre pymes y grandes empresas

Dimensiones	Pymes	Gran Empresa
Escala de producción	Baja	Alta
Facturación	Baja	Alta
Capacidad de endeudamiento	Pequeña	Alta
Flexibilidad de la estructura organizacional	Flexible / Semi flexible	Semi flexible / Rígida
Disponibilidad de RR.HH. in house con competencias tecnológicas	Baja	Alta
Redes o entramado con organismos de Cyt y proveedores de soluciones tecnológicas.	Bajo	Elevado
Investigación y desarrollo	Bajo/nulo	Presente/Elevado
Presencia de software de avanzado de gestión	Bajo/nulo	Presente/Elevado
Líneas de producción	Equipamiento heterogéneo	Homogéneo de acuerdo al momento de armado de la línea

Fuente: elaboración propia en base a: Müller y Voigt, 2017; Mittal et al., 2018; Majstorovic et al., 2021.

Estas diferencias entre los tamaños de empresas generan asimetrías y barreras que son difíciles de superar para las pymes en relación con la incorporación de tecnologías I4.0. Lo que lleva a que a pesar del interés de las firmas por implementar el paquete tecnológico se dé una baja adopción del mismo acarreando problemas al momento de competir en el mercado.

¹ Resolución 121/2023 RESOL-2023-121-APN-SIYDP#MEC:

<https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/283562/20230329> Anexo 3, 29/03/2023

ISSN: 2344-9195 <http://www.redpymes.org.ar/index.php/nuestra-revista> / <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pid/index> Pymes, Innovación y

Desarrollo – editada por la Asociación Civil Red Pymes Mercosur

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 License.

2.2. Barreras a la I4.0 en pymes

A los problemas de escala mencionados en la sección 2.1. se suman otra serie de barreras y obstáculos para la incorporación del paquete I4.0. De los antecedentes bibliográficos referentes a la temática de barreras para la automatización y digitalización de empresas (Norden, 2015; Kamble, Gunasekaran y Sharma, 2018; Müller, 2019; Mogos et al., 2019; Rauch, Dallasega y Unterhofer, 2019; Motta, Morero y Ascúa, 2019) los principales identificados son:

- Económico - Financieras

a) Elevado costo de inversión y riesgo financiero relacionado, la disponibilidad de fondos y el costo del equipamiento. Hace largos los retornos y hay dificultades para acceder a crédito para financiar proyectos.

- Tecnológicas

b) Problemas de integración y compatibilidad de nuevos equipos y sistemas, las pymes trabajan con equipos de diversas generaciones por lo cual la integración de los mismos entre sí y con nuevos es compleja.

c) Faltas de estándar consolidado y arquitecturas comunes, que aseguren la compatibilidad entre los nuevos equipos. Los estándares de comunicación son diferentes de acuerdo al fabricante siendo una barrera para la automatización.

d) Limitaciones de infraestructura de conectividad, existen regiones que no se encuentran conectadas o donde las conexiones son de calidad insuficiente para soportar I4.0.

- De demanda

e) Escala de equipos y demanda, la incertidumbre de la demanda sumada a la escala elevada de los equipos automáticos crea un obstáculo a la automatización.

f) Baja sofisticación de la demanda y la propia naturaleza de la actividad productiva de la pyme.

Otras barreras

g) Falta de interés y comprensión sobre los beneficios de la digitalización en las empresas, la gerencia no comprende la importancia de la I4.0 para su negocio y prefiere destinar los fondos de inversión disponibles a otras partes del negocio.

h) Baja formación de los empleados, en las competencias para el uso y mantenimiento de tecnologías I4.0, las pymes no cuentan con personal especializado lo cual dificulta búsqueda y asimilación de tecnologías disponibles.

A fin de subsanar este conjunto de barreras a la implementación de I4.0 los Estados crean una serie de políticas e instrumentos que fomentan su implementación. Dichas iniciativas en la mayoría de los casos se encuentran acordadas con organizaciones empresariales, dando lugar a instrumentos públicos y público-privados (Götz y Jankowska, 2017; Bezerra Borges, Meyer Soares y Santana Silva, 2021).

2.3. Incentivos a la Industria 4.0

Por la importancia de I4.0 como el “nuevo paradigma” de producción a nivel global, distintos gobiernos han tomado diferentes políticas de apoyo y promoción (drivers) con el fin de facilitar la adopción por parte del entramado industrial de las regiones. (Teknikföretagen, 2013; Norden, 2015; Larosse, 2017; Mattauch, 2017; MINCOTUR, 2020). Estos apoyos pueden ser divididos en cuatro grandes orientaciones conforme a la literatura analizada:

- a) Difusión de I4.0, acciones destinadas a la puesta en conocimiento y sensibilización por parte de los actores involucrados,
- b) Marco institucional y políticas, marco normativo y planes para la aplicación de incentivos hacia I4.0,
- c) Apoyo financiero, diferentes modelos de fondos para implementación,
- d) Asesoramiento para la implementación de I4.0.

Tabla 2: Facilitadores de la Industria 4.0.

a) Difusión de I40
Informes.
Congresos y jornadas.
Desayunos y meetings.
Ferias.
Plataformas web relacionadas.
Charlas casos de éxito.
Exposiciones sobre nuevas tecnologías para sectores.
Fomento de redes de actores.
Webinars.
Premios.
b) Marco institucional y políticas orientadas a I4.0
Políticas nacionales.
Políticas regionales.
Políticas sectoriales.
Políticas de cooperación estado - empresa.
Políticas de cooperación empresa – empresa.
Planes anuales y plurianuales de desarrollo.
c) Apoyo financiero
Apoyo económico a redes de empresas.
Subvenciones para I+D.
Subvenciones para transferencia tecnológica.

Financiamiento de Asesoramiento.
Financiamiento de Entrenamiento.
Financiamiento de instalación y compra de bienes de capital.
Financiamiento de desarrollo, compra e implementación de software relacionado.
Financiamiento de centros de formación y laboratorios.
Subvención de la contratación de personal de elevada calificación en tecnologías.
Apoyos a la digitalización.
Apoyos a la Innovación.
Becas para formación de profesiones relacionadas.
Financiamiento de Start up.
Apoyo a infraestructura de soporte (comunicaciones)
d) Asesoramiento
Sistemas de autodiagnóstico.
Diagnóstico de situación.
Elaboración de Road maps.
Entrenamiento de personal.
Servicios de asesoramiento (ej.: impresión 3d)
Realización de Benchmarking.
Ciberseguridad.
Formulación de proyectos.
Búsqueda de tecnologías.

Fuente: elaboración propia.

2.4. Impacto de la I4.0 en pymes

La implementación de la industria 4.0 en las pymes tiene impacto en los recursos humanos (RR.HH.) y la eficacia operativa. Con la introducción de tecnologías avanzadas (automatización, la inteligencia artificial y la robótica) se dan cambios y se generan rutinas en procesos que implican nuevas interacciones entre artefactos y humanos (Feldman et al., 2021; D'Adderio, 2011). Lo que lleva a la necesidad de nuevas habilidades en los RRHH, como la capacidad de trabajar con tecnologías digitales, analizar datos y tomar decisiones basadas en información (Bonekamp y Sure, 2015; Shuttleworth et al., 2022; Matthes et al., 2023).

Para aprovechar el paquete I4.0, las pymes deben invertir en capacitación y desarrollo del personal. Estas acciones pueden implicar programas de capacitación internos, colaboraciones con instituciones educativas o la contratación de nuevos empleados con experiencia en tecnologías digitales (Bonekamp y Sure, 2015; Shuttleworth et al., 2022).

Las tecnologías de la I4.0 al facilitar la comunicación entre empleados, equipamientos y áreas de las organizaciones impacta también en los procesos y modelos de gestión. Las herramientas digitales permiten compartir información de manera más rápida y eficiente, lo que fomenta la colaboración en tiempo real. La comunicación y colaboración mejoradas pueden agilizar los flujos de trabajo y mejorar la productividad. Estos cambios en las rutinas y prácticas organizacionales permiten reducir tiempos de producción, minimizar errores y aumentar como consecuencia la calidad de los productos (Trinks, 2021; Shivam y Gupta, 2022).

3. Modelos de Madurez en Industria 4.0

De la mano del impulso a la difusión, transferencia y adopción del paquete de tecnologías de la I4.0, se generaron una serie de instrumentos y metodologías de gestión tecnológica y de la innovación para diagnosticar y planificar los procesos de transformación de las firmas en base enfoques de modelos de madurez.

La implementación de las Metodologías de Madurez (MM) conlleva un minucioso examen de la firma con el propósito de identificar fortalezas, deficiencias y vulnerabilidades en la adopción de tecnologías I4.0. Este diagnóstico abarca toda la estructura de la organización y aborda cada fase de los procedimientos, evaluando los requisitos indispensables para la asimilación exitosa.

La obtención de datos se efectúa mediante cuestionarios que abordan el estado de la transformación digital, el análisis de los procesos primordiales y entrevistas con el personal pertinente para detectar vacíos tanto en los procesos como en las habilidades. Los resultados de esta evaluación se emplean para determinar el nivel de madurez tecnológica de la entidad y sus respectivas áreas. Las métricas de madurez facilitan la comparación entre diversas organizaciones en términos de sus niveles de avance. Estos aportes son fundamentales en la confección de las hojas de ruta, que habilitan a las empresas a dar inicio a su transformación en post de la implementación exitosa de la I4.0 (Canetta, Barni y Montini, 2018).

Uno de los MM más utilizados es el de Acatech perteneciente a la Academia Alemana de Ciencia e Ingeniería (Schuh et al., 2017; Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013; Schmitz, 2020) que permite a las organizaciones identificar su estado respecto a la etapa de digitalización hacia la I4.0. 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 pueden 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.

Otro de los más difundidos es el Modelo industria inteligente de Singapur (SIRI). Este índice (SEDB, 2020a; SEDB, 2020b) es un MM que se creó para ayudar a las empresas a comprender los beneficios de la I4.0 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 I4.0 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: Tecnología, Procesos y Organización, que están respaldadas por componentes claves: Automatización, Conectividad, Inteligencia, Operaciones, Cadena de abastecimiento, Ciclo de vida producto, Disponibilidad de talento y Estructura y gerenciamiento. Además, se evalúan las siguientes dimensiones: Integración vertical, Integración horizontal, Ciclo de vida del producto integrado, Automatización, Planta de producción, Empresa e instalación, Conectividad: planta, empresa e instalación, Inteligencia: planta, empresa e instalación, Aprendizaje y desarrollo de la fuerza laboral, Competencia de liderazgo y Colaboración entre empresas e interna y Estrategia y gobernanza.

A su vez existen una serie de modelos creados para pymes que surgen de adaptaciones y variaciones de los anteriores y respondiendo a necesidades especificadas de ciertos sectores (Akdil, Ustundag y Cevikcan, 2018; Modrák y Šoltysová, 2020) a fin de facilitar la medición y el desarrollo de planes de implementación.

4. Metodología

Para lograr el objetivo central de este trabajo, se optó por un enfoque cuantitativo basado en adecuaciones de los modelos de madurez para analizar el grado de implementación de tecnologías del paquete de I4.0 en pymes de Argentina². En forma complementaria considerar obstáculos e impacto de las mismas en pymes.

Se realizó un muestreo estratificado por conveniencia, a fin de representar el estado de avance de las empresas radicadas en las provincias de Entre Ríos y Santa Fe (Argentina). Además, se utilizó criterios de tamaño para que cumplan con ser pymes y que pertenezcan a diferentes rubros manufactureros.

Se aplicó un formulario único con encuestador en forma presencial, y en las firmas de mayor porte hubo instancias auto administradas para luego efectuar un chequeo de la información por parte de un encuestador. En la instancia presencial a su vez se efectuó un chequeo de los datos relevados en el formulario con identificación de las tecnologías mencionadas y un análisis cualitativo de las mismas para ajustar el respectivo módulo de análisis del nivel de madurez.

El instrumento contenía diferentes módulos sobre la incorporación de tecnologías 4.0. Se evaluaron componentes tales como: sistemas cyber físicos, análisis en tiempo real, virtualización, descentralización, IoT y robótica, y además un conjunto de obstáculos e impactos de los mismos en las pymes. Por otro lado, se relevaron cuestiones referentes a la estrategia de la firma en cuanto a digitalización y las capacidades de sus recursos humanos en relación a la implementación del paquete I4.0. El instrumento respondió a las cuestiones teóricas y de estudios previos planteadas en la sección 3 de este artículo. Para la evaluación de los módulos se adecuaron dimensiones de los MM enfocados en pymes³.

² Los resultados aquí analizados son parte del Proyecto: Evaluación y diseño de modelos de madurez para industria 4.0 orientados a pymes (PID UTN), que tiene por alcance elaborar una propuesta de Herramienta de Modelo de Madurez para pymes argentinas.

³ Para mayor información sobre el instrumento ver: Blanc, R., Lepratte, L. y Ratto, D. (2021). Modelos de Madurez Industria 4.0. Análisis y adaptaciones desde Argentina. Conference: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial. COINI 2021 y Blanc, R., Lepratte, L., Rodríguez, A. y Heggin, D. (2023). Modelos de madurez en industria ISSN: 2344-9195 <http://www.redpymes.org.ar/index.php/nuestra-revista> / <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pid/index> Pymes, Innovación y Desarrollo – editada por la Asociación Civil Red Pymes Mercosur
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 License.

Se realizó un análisis de datos primarios de firmas para lo cual fueron relevadas 15 (quince) durante el segundo semestre del año 2022 y el primero del año 2023. A partir de los mismos, se realiza un análisis descriptivo sobre las barreras e impacto relacionadas, estado de implementación e impactos de la I4.0 con el fin de lograr un estado de situación en cuanto a los modelos actuales de producción industrial.

Para el análisis de políticas e instrumentos se procedió a una revisión bibliográfica (nacional e internacional), y al análisis de datos secundarios de páginas web de organismos públicos y privados de Argentina que ofrecían líneas de incentivos de diferentes formas para la implementación y mejora de industria 4.0 en el territorio nacional. A continuación, se presentan los resultados de los datos primarios y secundarios analizados.

5. Resultados

5.1. Perfil de la muestra

La muestra está compuesta por empresas de una media de antigüedad de 32 años y con un promedio de 155 empleados. En cuanto al mercado todas las firmas comercializan en el mercado nacional, el 47% de las firmas exportan (Tablas: 4 y 5). Las empresas clasificadas por tamaño, el 80% corresponde a pequeñas y el 20% restante a medianas tramo 1. En cuanto al rubro los más representados son: fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques; elaboración de productos alimenticios y fabricación de maquinaria y equipo n.c.p. (Tabla 3).

Tabla 3: Sector de pertenecía.

Rubro	Frecuencia
Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	26,70%
Elaboración de productos alimenticios	20,00%
Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.	20,00%
Elaboración de bebidas	6,70%
Fabricación de papel y de productos de papel	6,70%
Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	6,70%
Fabricación de sustancias y productos químicos	6,70%
Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho	6,70%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

Tabla 4: Antigüedad y cantidad de empleados

	Media	Mínimo	Máximo
Antigüedad	32,2	3	66

Empleado	155	3	650
----------	-----	---	-----

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

Tabla 5: Mercado destino de los productos y servicios

Destino	Frecuencia
Nacional	100,00%
Internacional	46,70%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

5.2. Nivel de Madurez de I4.0

5.2.1. Análisis de los componentes

Las empresas de la muestra utilizan hardware y herramientas de I4.0 en diferentes niveles. Las tecnologías que se presentan con mayores frecuencias son los *sensores y actuadores* y *el hardware de control* en el 66,7% de los casos. Por su parte, como es lógico, tienen un elevado nivel de implementación de redes para el tráfico de datos en el 60% de los casos, aunque en muchos de ellos estas redes responden más a tareas administrativas que operativas.

La interconexión entre máquinas alcanza el 26% que tienen conexiones M2M, solo el 20% de las firmas de la muestra tienen los equipos de producción coordinados en red (línea completa). Hay una elevada presencia de servidores locales en el 53,3% y en el caso de los servidores cloud esta cifra disminuye al 20%.

De las tecnologías de identificación y seguimiento de piezas la más utilizada es el código de barra 53,3% seguida por los códigos matriciales QR con el 20% y finalmente el RFID con el 6,7%.

La manufactura aditiva comúnmente llamada impresión 3d se presenta en solo el 13,3% de las firmas las cuales la utilizan para prototipado de partes o productos. Los robots de manipulación y operación están presentes en el 33,3% de los casos y hay una ausencia de robot de servicios autónomos de los diferentes tipos. Situación similar se da con la realidad aumentada.

Tabla 6: Frecuencia de uso de tecnologías I4.0 relacionadas a producción.

Tecnología	Frecuencia
Las máquinas y transportes poseen sensores y actuadores.	66,70%
Hardware de Control (PLC, DCS, CNC, PAC, RTU) con sistemas embebidos.	66,70%
Red cableada o inalámbrica para transmisión de datos de máquinas.	60,00%
Servidores de recolección y almacenamiento de datos propios	53,30%
Las máquinas tienen HMI (Human-Machine Interface)	53,30%
Producto/Partes Código de barra	53,30%
ROBOT de manipulación (brazos de selección, ensamblado, soldado, etc.)	33,30%
M2M (interconexión entre máquinas)	26,00%

Servidores de recolección y almacenamiento datos cloud.	20,00%
Producto/Partes QR	20,00%
Impresoras de materiales (manufactura aditiva)	13,30%
Producto/Partes RFID	6,70%
ROBOT de servicio (movimiento autónomo de productos dentro de planta, limpieza, etc.).	0,00%
Realidad aumentada	0,00%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

En cuanto al uso de software relacionado a I4.0 el que se presente con mayor frecuencia fue el ERP en el 60% de las firmas, pero en general no se utilizan en forma completa solo el 46,7% de las firmas expreso que utilizaba el software con todas sus funcionalidades, y únicamente el 26,7% tiene los diferentes paquetes de software integrados entre sí.

El 40% de las firmas hacen usos de software específico para diseño, simulación y estadística. El 26,7% de las firmas poseen MRP II que son sistemas más sencillos que los ERP. Se dio la presencia de sistemas SCADA (13,3%), MES (13,3%) y MOM (6,7%) y una completa ausencia de software BPM y de asignación y seguimiento de trabajo.

Tabla 7: Frecuencia de uso de software relacionado a I4.O en las firmas.

Software	Frecuencia
ERP Sistema de planificación de recursos	60,00%
Software específico de diseño/simulación/estadística	40,00%
MRP II Sistema de planificación de materias primas	26,70%
Sistemas SCADA	13,30%
MES (Manufacturing Execution System)	13,30%
Software para gestión del mantenimiento preventivo/predictivo	13,30%
MOM (Manufacturing Operations Management)	6,70%
Software de gestión de clientes (CRM)	6,70%
BPM Software (gestión de negocios y procesos inteligente)	0,00%
Software para colaboración/comunicación/asignación de trabajo.	0,00%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

En el aspecto de los *recursos humanos* se evaluó qué perfiles se encontraban relacionados a las nuevas tecnologías. Se detectó la presencia de al menos un empleado con los siguientes perfiles en las siguientes competencias/formación según proporción de firmas: Automatización/Electrónica/Ingeniería industrial (46,7%), Diseñador por computadora (40,0%), Especialista en simulación por computadora (40,0%), Sistemas/Informática/programación (33,3%) y Analistas/Estadista/Científico de datos (26,7%).

A pesar de esto los empresarios declararon tener problemas con el soporte técnico y mantenimiento de las tecnologías teniendo en muchos casos dependencia de proveedores externos a la firma para poder soportar estas funciones.

Tabla 8: Frecuencia de presencia de profesionales dedicados a actividades relacionadas a I4.0 en las firmas.

Perfil profesional. Al menos un personal en...	Frecuencia
Automatización/Electrónica/Ingeniería industrial	46,70%
Diseñador por computadora	40,00%
Especialista en simulación por computadora	40,00%
Sistemas/Informática/programación	33,30%
Analistas/Estadista/Científico de datos	26,70%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

Se consulto por la edad promedio del personal de planta y la respuesta más frecuente es que el mismo está en el intervalo entre 30 y 40 años con el 73,3% de los casos. El 53,3% de las firmas realiza formación de sus empleados en diferentes temáticas tecnológicas en general poco relacionadas a I4.0, dado que en general los conocimientos específicos están en manos de proveedores especializados.

Tabla 9: Edad promedio de los empleados de la empresa.

Intervalos de edad promedio.	Frecuencia
Entre 20 y 30 años	13,30%
Entre 30 y 40 años	73,30%
Entre 40 y 50 años	6,70%
Entre 50 y mas	6,70%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

El 86,7% de las firmas asiste a ferias de tecnología para su sector y/o hace vigilancia de la evolución tecnología de su sector y el 53,3% de la muestra tiene personal dedicado part time para la implementación de nuevas tecnologías.

Cuando se les pregunta sobre el estado de avance percibido en cuando al nivel de implementación de tecnologías I4.0 (Tabla 10) la mayor parte de las firmas se encuentra en un escalón bajo o inicial el 80%, y solo el 20% afirma estar en un estado intermedio.

Tabla 10: Frecuencia de avance en implementación de tecnologías I4.0 percibido en las firmas

Nivel	Frecuencia
Baja/Nulo	26,70%
Inicial	53,30%
Intermedio	20,00%
Avanzado	0,00%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

5.2.2. Resultado General del Nivel de Madurez I4.0 de las pymes.

Del análisis del indicador del estado de madurez de I4.0 lo común en la muestra es haber alcanzado el 41% de avance en lo relativo a estas tecnologías. Se da el caso de firmas que solo alcanzaron el 6%, y en su opuesto las de mejor desempeño lograron el 70%.

La muestra se encuentra lejos del máximo teórico o el estadio más avanzado de implementación.

Tabla 11: Estado de implementación de las empresas analizadas en industria 4.0

Media	Mínimo	Máximo	Máximo teórico
6,22	0,9	10,7	15,2
40,92%	5,92%	70,39%	100,00%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

Analizando este indicador mediante intervalos podemos afirmar que el 33,3% de las pymes estudiadas tienen nivel I Ausencia de I4.0, por su parte el 26,7% a ingresado al nivel II de Control de datos, y el 40% supero esta etapa ingresando en el nivel de III de Rutinas avanzadas. Esta distribución no concuerda con la percepción de los empresarios, sobre todo en el nivel inferior. Lo que evidencia una discordancia en la percepción del grado de evolución en la implementación de I4.0, entre los parámetros de los MM y los percibidos desde los tomadores de decisiones en las pymes.

Tabla 12: Frecuencia de avance en implementación de tecnologías I4.0 medido en las firmas

Nivel	Frecuencia
I Ausencia	33,30%
II Control de datos	26,70%
III Rutinas avanzadas	40,00%
IV Expansión	100

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

5.3. Obstáculos e impacto de la I4.0.

Los principales obstáculos esgrimidos considerados se vinculan con cuestiones del contexto macro y microeconómico de las pymes estudiadas. Para el 74% un obstáculo importante es el elevado costo de inversión, mientras que para el 60% las condiciones de acceso al financiamiento para adquisición de este tipo de tecnologías. En menor medida, aparecen como obstáculos de este tipo, los problemas para importar equipamientos.

Luego aparecen en orden de importancia, los problemas relacionados con recursos humanos especializados para operar con este tipo de tecnologías. Finalmente, problemas propios de compatibilización de equipamientos existentes con los del paquete I4.0

Tabla 13: Obstáculos expresados por las empresas

Obstáculos	Frecuencia
Elevado costo de inversión	73,30%
Condiciones de crédito (tasa, monto y tiempo)	60,00%
Problemas para importar los equipos	33,30%
Falta de RR.HH. para mantenimiento	20,00%
Falta de RR.HH. para instalación	13,30%
Heterogeneidad de los equipos e incompatibilidad de los nuevos	6,70%
Escala de los equipos de nueva generación	6,70%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

En cuanto a los impactos esperados por las pymes al introducir tecnologías I4.0 estas se centran fundamentalmente en innovaciones y mejoras en procesos productivos, sean niveles de productividad, escala de producción, reducción de desperdicios y niveles de confiabilidad de productos o procesos. Luego, aparecen impactos en las habilidades y conocimientos de los recursos humanos y las metodologías de gestión. Para el 30% de las de las firmas pymes analizadas la introducción del paquete I4.0 esperan repercuta en el acceso a nuevos mercados.

Tabla 14: Impactos expresados por las empresas en la aplicación de I4.0

Impacto	Frecuencia
Cambios en la productividad (cantidad/tiempo)	71,40%
Cambios en escala de producción (incrementos)	64,30%
Reducción de desperdicios	64,30%
Cambios en los niveles de confiabilidad de productos o procesos	57,10%
Cambios en las habilidades o conocimientos de los RR.HH.	50,00%
Cambios en los niveles de agilidad procesos	35,70%
Acceso a nuevos mercados	28,60%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

6. Los instrumentos de apoyo a la I4.0

La Ley de Economía del Conocimiento de Argentina⁴ es una legislación diseñada para promover y regular actividades económicas basadas en el conocimiento y la innovación. Tiene como objetivo fomentar la inversión, la generación de empleo y el desarrollo tecnológico en sectores como la tecnología de la información, la biotecnología, la nanotecnología, la industria audiovisual y otros campos relacionados. Esta junto con otras leyes provinciales y planes de diferente orden promueven los medios para difusión, apoyo financiero y asesoramiento en nuevas tecnologías.

En post de catalizar la adopción y el progreso de tecnologías avanzadas en el ámbito industrial, Argentina había concebido un Plan Nacional de Desarrollo de la Industria 4.0⁵. Este plan se orientaba hacia la promoción de una serie de elementos esenciales. En primer lugar, se destacaba el propósito primordial de estimular la incorporación de tecnologías inherentes a la Industria 4.0, como la inteligencia artificial, la automatización, el Internet de las cosas y la robótica, en diversos sectores económicos del país. Asimismo, el plan abrazaba la importancia de la capacitación y la formación. Esta dimensión implicaba la ejecución de iniciativas educativas y formativas con el fin de dotar a los trabajadores y profesionales de las competencias necesarias para abordar los retos que plantea la Industria 4.0. De este modo, se contemplaba la concepción y ejecución de programas educativos y oportunidades de desarrollo de habilidades. En consonancia con la visión de una colaboración sinérgica, el plan fomentaba la cooperación público-privada. A través de esta sinergia, se buscaba promover la adopción de tecnologías 4.0 y la creación conjunta de proyectos mediante la unión de esfuerzos entre entidades gubernamentales, empresas, universidades y centros de investigación.

Por su parte, hubo un crecimiento en el asesoramiento y difusión de las tecnologías I4.0, impulsado por fondos públicos y ejecutado por las universidades, el INTI y las cámaras empresariales, con diferentes objetivos. Estos objetivos van desde la toma de conciencia de lo que implican estas tecnologías, la medición del estado de implementación y capacitaciones en paquetes tecnológicos relacionados, como la manufactura aditiva, la realidad aumentada, y la programación, entre otros.

En cuanto al apoyo financiero Argentina cuenta con múltiples instrumentos entre los cuales se destacan Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR), Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC), Programa de Apoyo a la Competitividad (PAC) sobre todo en sus líneas Conglomerados productivos TIC y Transformación Digital entre otros. Las empresas pymes tienen problemas al momento de aplicar por dos cuestiones la primera los requisitos de admisión y la segunda la baja capacidad de formular y seguir este tipo de proyectos de las firmas de este tamaño.

Resumiendo lo dicho anteriormente, en Argentina existen múltiples instrumentos de apoyo a los cuatro ejes de instrumentos explicados con anterioridad (Tabla 2: Facilitadores de la Industria 4.0.) un listado de estos puede ser observado en la Tabla 15 a continuación:

⁴ Ley de Economía del Conocimiento (Ley N° 27.570 - B.O. 7/10/2020) recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/economia/igualdadygenero/regimen-de-promocion-de-la-economia-del-conocimiento>

⁵ Ministerio de Desarrollo Productivo (2021). Plan Nacional de Desarrollo de la Industria 4.0 recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_desarrollo_productivo_argentina_4.0.vf__1.pdf
ISSN: 2344-9195 <http://www.redpymes.org.ar/index.php/nuestra-revista> / <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pid/index> Pymes, Innovación y Desarrollo – editada por la Asociación Civil Red Pymes Mercosur
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 License.

Tabla 15: Instrumentos públicos hacia diferentes ejes de I4.0

Difusión de I4.0	Marco institucional y políticas
<p>Múltiples documentos, videos, talleres, jornadas y webinars impulsados sobre todo desde los ministerios, gobiernos provinciales y municipales, universidades públicas y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).</p>	<p>Son el soporte normativo para los cuadrantes de difusión, apoyo financiero y asesoramiento. Legislación Nacional y Provincial (Economía del Conocimiento)</p>
Apoyo financiero	Asesoramiento
<p>PAC Transformación Digital.</p> <p>Crédito para Despegue 4.0 FONDEP-BNA</p> <p>Créditos para Inversiones con capital de trabajo asociado para licenciarios de servicios de TIC.</p> <p>Créditos para Transformación 4.0.</p> <p>Proyectos 4.0 – Potenciar.</p> <p>Proyectos 4.0 - Producción colaborativa de Economía del conocimiento.</p> <p>Soluciones de Industria 4.0 - Programa Nacional de Desarrollo de Proveedores.</p> <p>Innovación PAC – Emprendedores.</p> <p>Desarrollo y Promoción de la Economía del Conocimiento - Apoyo a la Inversión.</p> <p>Proyectos 4.0 – Soluciona.</p> <p>Catálogo de vinculación de Oferta y Demanda - Red de Asistencia Digital para Pymes.</p> <p>Nodos de la EDC - Apoyo a la Inversión.</p> <p>Proyectos 4.0 Co-desarrollo - Incentivar Conocimiento.</p> <p>Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR) y FONSOFT (dentro de FONTAR).</p>	<p>Formación de capital humano en habilidades 4.0.</p> <p>Talleres de sensibilización sectoriales en Transformación Digital.</p> <p>Herramienta medición madurez digital.</p> <p>Implementación de soluciones digitales en la industria.</p> <p>Transformación digital y adopción de tecnologías 4.0</p> <p>Desarrollo conjunto de soluciones tecnológicas y capacitación de RRHH.</p> <p>Seminario Transformación Digital.</p> <p>Capacitación 4.0 y Economía del Conocimiento para Municipios.</p> <p>Oficios 4.0.</p> <p>Capacitación 4.0.</p> <p>Incluir 4.0.</p> <p>Actualizar 4.0.</p> <p>Capacitación 4.0.</p> <p>Diplomatura 4.0 (varias ofertas)</p>

Unidades de Transformación Digital.	Registro de la Red de Asistencia Digital para Pymes
Reintegros en capacitaciones de Transformación Digital.	Innovación tecnológica. Soluciones de Industria 4.0. Diagnóstico de Productividad 4.0. IND Ar 4.0. Articuladores tecnológicos. Maquinaria Agrícola 4.0 - INTI4.0.

Fuente: elaboración propia en base a datos secundarios.

7. Discusión

Si consideramos los tres principales obstáculos identificados por las pymes analizadas para implementar I4.0: el elevado costo de inversión, las condiciones de crédito y los problemas para importar los equipos, podríamos reconocer en una lectura vis a vis que coinciden con varios de los instrumentos de promoción disponibles en el mercado, aportados tanto por el sector público como por el privado que hemos registrado (Tabla 15). Aquí surge un primer punto de discusión.

Retornado el costo de la inversión y las condiciones de crédito, existen múltiples políticas públicas y algunas de larga trayectoria destinadas a pymes para su financiamiento por lo cual surgen algunas preguntas ¿Por qué las pymes no acceden a las mismas? ¿Tienen problemas para calificar? ¿Los alcances de los instrumentos no son acorde a sus problemas?; dado que existen múltiples apoyos con diferentes objetivos.

Otra cuestión que surge del estudio es el problema de la escasez de personal calificado tanto para la instalación como para el mantenimiento del paquete I 4.0. Como así también de una cultura empresarial que adopte las metodologías de gestión y skills derivadas y relacionadas con la convergencia tecnológica y la transformación digital.

Aquí si bien se ha buscado promover, desde instancias gubernamentales conectadas con el desarrollo productivo, los alcances e impactos que está teniendo la I4.0 son escasas las respuestas desde el sector educativo al respecto. Las iniciativas que se han identificado son muy recientes, desde 2019 aproximadamente y no son incorporadas en forma integral en el sistema educativo en todos sus niveles. A este problema de transformación de las orientaciones del sistema educativo con impacto en el capital humano y social futuro, se suma otro condicionante que es la baja matrícula de estudiantes universitarios en Argentina en carreras que se corresponden con el paquete de competencias de I4.0.

La mayoría de estas carreras están incluidas dentro de la rama de ingeniería y ciencias exactas. Por otro lado, las instituciones educativas no tienen la capacidad de responder a la velocidad de cambio que exige la demanda en cuanto a la temática de tecnologías debido al dinamismo en el mercado. En este sentido, los instrumentos de asesoramiento y capacitación pueden ser vistos como un paliativo, pero no como una solución a la brecha

entre la oferta y la demanda de competencias del personal en cuanto a I4.0 y menos aún al desarrollo de la convergencia tecnológica.

Finalmente, otro aspecto clave de la discusión es que, si bien los impactos esperados por las firmas son elevados respecto a la incorporación del paquete I.40, esto se contrapone a las inversiones y sus retornos. En economías como la de Argentina, estos retornos son más prolongados de lo que admiten los empresarios pymes que buscan inversiones con retornos cortos, por tanto, se genera aquí un permanente cuello de botella y desafío para impulsar procesos de transformación tecnológica de largo plazo.

8. Conclusiones

Del análisis de incentivos para I4.0 se derivan una multiplicidad de instrumentos. Sin embargo, al momento de consultar a los empresarios sobre los mismos, expresan dificultades para aplicarlos y acceder a ellos. Esto se suma a los montos en pesos, que resultan exiguos con relación a los niveles de inversión requeridos, y a los largos plazos de aprobación y gestión. Estos factores a su vez se profundizan en sentido negativo al verse disminuidos por los efectos inflacionarios estructurales de la economía de Argentina.

Aunque existen múltiples barreras, la económico-financiera es sin duda la mayor limitante. A esto se añade la dependencia en cuanto a la instalación y el mantenimiento de proveedores especializados, especialmente empresas de automatización y control, así como empresas de software. Esta dependencia podría reducirse si se elevaran las habilidades de los empleados, lo cual es otra limitante que se presenta con mayor frecuencia.

Las barreras identificadas impactan con mayor fuerza en las pymes, ya que carecen de disponibilidad para acceder a financiamiento y en general no poseen la liquidez necesaria para afrontar los costos de compra e implementación de I4.0. Además, los valores de los cursos de entrenamiento especializados en ciertas tecnologías relevantes (robótica, programación, análisis de datos, etc.) son elevados e implica movilizar a parte del personal.

El nivel de implementación de I4.0 en las firmas de la muestra es bajo, y existe una gran heterogeneidad en empresas del mismo rubro y tamaño. Todas las empresas reconocen que estas tecnologías son actuales y relevantes, y que sus impactos son positivos en términos de competitividad. Sin embargo, dada la elevada magnitud de las barreras que dificultan la implementación, pocas pymes logran ingresar a niveles intermedios y avanzados de I4.0.

El relevamiento de la muestra revela la necesidad de revisar los instrumentos de fomento económico, especialmente en cuanto al financiamiento, con el propósito de ampliar su acceso, sobre todo para las pymes. Sería más adecuado crear programas de crédito con sistemas de inversiones escalonadas o por fases para la implementación de I4.0, considerando los volúmenes de inversión que las pymes deben afrontar al embarcarse en este proceso.

Es importante y pertinente potenciar la agenda de investigación en temáticas de I4.0 para determinar qué habilidades son necesarias para los empleados que participan en procesos de I4.0 y en la digitalización de empresas pymes. Esto facilitará los procesos de

actualización de habilidades (upskill) y de reentrenamiento (reskill) de la fuerza laboral, con el fin de poder implementar y mantener la Industria 4.0.

Además, sería central revitalizar la matriz curricular de educación técnica con el fin de abordar áreas como la programación de sistemas embebidos, automatización, monitoreo y adquisición de datos, conocimientos que son competencias básicas y frecuentes en I4.0.

9. Bibliografía

- Akdil, K.Y., Ustundag, A., Cevikcan, E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In: *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation. Springer Series in Advanced Manufacturing*. Springer, Cham.
- Berger, Roland (2016). *España 4.0: El reto de la transformación digital de la economía*. Madrid: Siemens.
- Bezerra Borges, D., Meyer Soares, P., & Santana Silva, M. (2021). Programs and instruments for promoting innovation with technology-based companies in Brazil. *Journal of technology management & innovation*, 16(2), 28-40.
- Bonekamp, L., & Sure, M. (2015). Consequences of Industry 4.0 on human labour and work organisation. *Journal of Business and Media Psychology*, 6(1), 33-40.
- 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).
- 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. (2011). Artifacts at the centre of routines: Performing the material turn in routines theory. *Journal of institutional economics*, 7(2), 197-230.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Fosso Wamba, S., Roubaud, D., & Foropon, C. (2021). Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 59(1), 110-128.
- Feldman, M., Pentland, B., D'Adderio, L., Dittrich, K., Rerup, C., & Seidl, D. (2021). What Is Routine Dynamics? In M. Feldman, B. Pentland, L. D'Adderio, K. Dittrich, C. Rerup, & D. Seidl (Eds.), *Cambridge Handbook of Routine Dynamics* (pp. 1-18). Cambridge: Cambridge University Press.
- Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2022). Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics. *Annals of operations research*, 308(1), 125-143.
- Götz, M., & Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0—do they fit together? *European Planning Studies*, 25(9), 1633-1653.

- 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.
- 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.
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 508-517.
- Larosse, Jan (2017). Analysis Of National Initiatives On Digitising European Industry. France: Alliance Industrie Du Futur.
- Majstorovic, Vidosav; Goran Jankovic, Srdjan Zivkov, Slavenko Stojadinovic. (2021). Digital Manufacturing in SMEs based on the context of the Industry 4.0 framework – one approach. *Procedia Manufacturing*, 54, 52-57.
- Mattauch, Walter (2017). Digitising European Industries - Member States Profile: Germany.
- Matthess, M., Kunkel, S., Dachrodt, M y Beier, G. (2023). The impact of digitalization on energy intensity in manufacturing sectors – A panel data analysis for Europe. *Journal of Cleaner Production*, 397, 136598.
- MINCOTUR (2020). Estrategias para el fomento de la Industria 4.0 en ESPAÑA. Ministerio de Industria comercio y turismo de España.
- 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.
- Modrák, V., Šoltysová, Z. (2020). Development of an Organizational Maturity Model in Terms of Mass Customization. In: Matt, D., Modrák, V., Zsifkovits, H. (eds) *Industry 4.0 for SMEs* (pp.215-250). Palgrave Macmillan, Cham.
- Mogos, Maria Flavia; Eleftheriadis, Ragnhild J. y Myklebust, Odd (2019). Enablers and inhibitors of Industry 4.0: results from a survey of industrial companies in Norway, *Procedia CIRP*, 81, 624-629.
- Motta, J. J., Morero, H., & Ascúa, R. (2019). *Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina* (Documentos de Proyectos). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Müller JM y Voigt KI. (2017). Industry 4.0-Integration strategies for small and medium-sized enterprises. International Association for Management of Technology (IAMOT) pp. 1–15.
- Müller, J. M. (2019). Assessing the barriers to Industry 4.0 implementation from a workers' perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2189-2194.
- Norden (2015). Digitalisation and automation in the Nordic manufacturing sector – Status, potentials and barriers. Nordic Council of Ministers.

- Rauch, E, P. Dallasega and M. Unterhofer, (2019). Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 87-94.
- Salunkhe and Å. Fast-Berglund (2020). Increasing operational flexibility using Industry 4.0 enabling technologies in final assembly. 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2020, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC49519.2020.9198630>
- Schmitz, S. (2020). Industrie 4.0 at scale How to transform manufacturing companies. i4.0MC - Industrie 4.0 Maturity Center GmbH.
- 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.
- Shivam, & Gupta, M. (2022). Quality process reengineering in industry 4.0: A BPR perspective. *Quality Engineering*, 35(1), 110-129.
- Shuttleworth, L., Schmitz, S., & Beier, G. (2022). Impacts of Industry 4.0 on industrial employment in Germany: A comparison of industrial workers' expectations and experiences from two surveys in 2014 and 2020. *Production & Manufacturing Research*, 10, 583 - 605.
- Singapore Economic Development Board (SEDB) a (2020). The Singapore smart industry readiness index. Catalysing the transformation of manufacturing.
- Singapore Economic Development Board (SEDB) b (2020). The Prioritisation Matrix. Catalysing the transformation of manufacturing.
- Teknikföretagen (2013). Made in Sweden 2030. Strategic Agenda for Innovation in Production. Association of Swedish Engineering Industries (Teknikföretagen).
- Trinks, S. (2021). Real Time Quality Assurance and Defect Detection in Industry 4.0. Lernen, Wissen, Daten, Analysen.
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.