

La Industria 4.0 barreras e impacto en su implementación en pymes.

Blanc, Rafael;

Lepratte, Leandro;

Rodríguez, María Alejandra,

Heggin Daniel

1. Introducción

La Industria 4.0 (I40) representa un conjunto aun no consolidado, en cuanto a su adopción, de tecnologías electrónicas y digitales, que han sido agrupadas como “paquete tecnológico y de transformación”. Este paquete resulta atractivo tanto para políticos como para empresarios (Brixner et al, 2019). Aunque estas tecnologías no son nuevas, su impacto la reducción de costos y su progresiva adopción por parte de los países líderes ha llevado a su expansión global. Dependiendo del contexto, también se la conoce como "Internet industrial", "Ciber fábrica" o "fábricas inteligentes", "Manufactura Avanzada", "Cuarta revolución industrial", "industria del futuro" o simplemente "Cuarta revolución industrial". Estos términos hacen referencia a un conjunto de tecnologías que se basan principalmente en sistemas ciberfísicos de carácter sociotécnicos, los cuales combinan máquinas, software y personas con objetivos comunes orientados hacia la resolución de problemas empresariales (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 elevada y constante formación de los recursos humanos (RR.HH.), elevados costos de mantenimiento y puesta a punto, y dependencia tecnológica (Dubey et al., 2019; Fragapane et al, 2020; Salunkhe y Fast-Berglund; 2020).

Dada la adopción progresiva de la I40 a nivel regional y mundial, se vuelve un fenómeno clave del cambio tecnológico y la implementación, aunque no sea en forma completa, de estas tecnologías un desafío para mejorar la competitividad de las firmas. El proceso de transferencia y adopción del paquete de tecnologías I40, presenta obstáculos para ser incorporados en pymes. Estudios recientes evidencian 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).

Las pymes en Argentina operan en diversos sectores, tienen diferentes niveles de facturación y empleados. Esto crea una heterogeneidad, pero también contrastes claros con las grandes empresas

que afectan la implementación de la I40 en las pymes. Las diferencias en tamaño y funcionamiento entre las pymes y las grandes empresas evidencian barreras, en las primeras, que son difíciles de superar. Como resultado, la adopción de sistemas I40 es un proceso complejo (Müller y Voigt, 2017; Mittal et al., 2018; Majstorovic et al., 2021).

La implementación de I40 en pymes impacta fundamentalmente en las skills de los recursos humanos y en las rutinas orientadas a la eficacia operativa. En la transferencia/adopción de tecnologías I40 se dan dinámicas de reestructuración de rutinas y habilidades, con nuevas destrezas y habilidades requeridas para los recursos humanos, tales como: trabajar con tecnología digital, analizar datos y tomar decisiones basadas en información. La comunicación entre artefactos y humanos, intra firma y entre las firmas y otras organizaciones y actores, mejora con herramientas digitales, facilitando la colaboración y toma de decisiones ágil. Esto agiliza flujos de trabajo, mejora la productividad y eleva la eficacia operativa. La I40 reduce tiempos de producción, minimiza errores y aumenta la calidad de los productos (Bonekamp y Sure, 2015; Trinks, 2021; Shivam y Gupta, 2022; Shuttleworth et al., 2022; Matthes et al., 2023).

La cuestión que surge de este contexto, es ¿qué obstáculos e impactos se evidencian en pymes de Argentina con la incorporación/adopción de tecnologías I40? El objetivo nuestro artículo es analizar los obstáculos e impactos de la incorporación de I40 en pymes de la provincia Entre Ríos y Santa Fe en Argentina.

Para esto nos valemos de enfoques sobre grados de madurez en la implementación de I40 (Schmitz, 2020; SEDB, 2020) y aportes sobre dinámicas de rutinas y capacidades en las firmas (Feldman et al., 2021) y la adopción de tecnologías digitales (D'Adderio, 2011). La metodología se basa en el estudio en pymes que han implementado o se encontraban incorporando tecnologías I40 al momento del relevamiento. Se aplica un formulario de encuesta ad hoc que se elaboró para captar la especificidad de la transferencia/adopción del paquete I40 en pymes de Argentina.

El artículo está organizado de la siguiente manera. El marco de referencia en la sección 2. La metodología de trabajo en la sección 3. En la sección 4 se describen los resultados de la muestra analizada. A partir de lo anterior, en la sección 5, se plantea la discusión de los hallazgos, considerando aspectos teóricos, prácticos para la toma de decisiones en las firmas y de políticas. Finalmente, se plantean las conclusiones y líneas de continuidad del estudio.

2. Marco teórico de referencia

2.1. Pymes e industria 4.0

Una pyme en Argentina es una empresa que realiza sus actividades en diferentes sectores: servicios, comercial, industrial, agropecuario, construcción o minero. Que factura entre treinta y ocho y siete mil millones de pesos anuales con una cantidad de empleados que va de doce a seiscientos cincuenta empleados¹. Esta definición hace que la homogeneidad interior del sector pyme sea relevante, pero los estudios evidencian que existen diversidad de trayectorias. A su vez, se observan claros contrastes entre el sector pyme y el sector de grandes empresas que afectan la implementación de I40. 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 conforme a la literatura relevante:

Tabla 1: Diferencias entre pymes y grandes empresas en relación con la adopción de tecnologías

Dimensiones	Pymes	Gran Empresa
Escala de producción	Baja	Alta
Facturación	Baja	Alta
Capacidad de endeudamiento	Pequeña	Alta
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. Lo que lleva a que la presencia de sistemas ciber físicos desarrollados sea menor y en algunos casos nulo, presentando baja compatibilidad y coordinación entre hardware y software que acarrea problemas al momento de competir en el mercado. Sumado a las dificultades para que sus recursos humanos se adapten y/o den respuestas creativas frente al cambio tecnológico, por limitaciones de skills y dificultades para cambios de rutinas operativas.

¹ Que es una pyme: <https://www.argentina.gob.ar/produccion/registrars-una-pyme/que-es-una-pyme#1>

2.2. Barreras a I40 en pymes.

De los antecedentes bibliográficos referentes a la temática de obstáculos 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; Fernández et al., 2022) los principales son:

- a) Elevado costo de inversión y riesgo financiero relacionado,
- b) Problemas de integración y compatibilidad de nuevos equipos y sistemas,
- c) Faltas de estándar consolidado y arquitecturas comunes,
- d) Falta de interés y comprensión sobre los beneficios de la digitalización en las empresas,
- e) Baja formación de los empleados,
- f) Escala de equipos y demanda,
- g) Limitaciones de infraestructura de conectividad,
- h) Baja sofisticación de la demanda y la propia naturaleza de la actividad productiva de la empresa.

Una vez que este conjunto de barreras es sorteado se generan impactos positivos por la implementación de las soluciones tecnológicas a nivel productivo y de los recursos humanos asociados al mismo.

2.3. Impacto de I40 en pymes.

La implementación de la industria 4.0 en las pymes tiene impacto en los 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 I40, las pymes deben invertir en capacitación y desarrollo del personal. Esto puede 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 I40 facilitan la comunicación entre empleados, equipamientos y áreas de las organizaciones. Las herramientas digitales permiten compartir información de manera más rápida y eficiente, lo que fomenta la colaboración en tiempo real. Esto conduce a una toma de decisiones más ágil, una solución más rápida de problemas y una mayor eficiencia en la ejecución de tareas. La

comunicación y colaboración mejoradas pueden agilizar los flujos de trabajo y mejorar la productividad. La I40 ayuda a las pymes a transformar y/o crear rutinas orientadas hacia la eficacia operativa. 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; Fernández et al., 2022; Shivam y Gupta, 2022).

3. Metodología

Los datos que se analizan son resultado de un proyecto de investigación² que tiene como objeto relevar y desarrollar una herramienta de medición de modelos de madurez simplificada para empresas pymes.

Se realizó un muestreo aleatorio simple estratificado por conveniencia, a fin de representar el estado de avance de las empresas radicadas en Argentina y se aplicó un instrumento de medición que evalúa diferentes componentes de I40. Se realizó un análisis de datos primarios de 12 (doce) firmas de la provincia de Entre Ríos y Santa Fe que fueron relevadas durante el segundo semestre del año 2022 y el primero de 2023. A partir de los mismos, se realiza un análisis descriptivo sobre las barreras e impactos de I40 a fin de lograr un estado de situación de las pymes en esta temática.

Se aplicó un formulario único con encuestador en forma presencial y en ocasiones mediada por tecnología (zoom/meet), en algunas firmas hubo instancias auto administradas y luego con un chequeo de la información por parte de un encuestador. En el instrumento de medición se analizó para este trabajo el módulo de estrategia empresarial donde se relevaban temáticas relacionadas con

² En el marco del proyecto “Evaluación y diseño de modelos de madurez para industria 4.0 orientados a pymes”. El proyecto presenta resultados de avances en otras dimensiones de análisis como escalas de medición, obstáculos a la implementación, casos de éxito entre otros resultados (Blanc et al., 2022a, 2022b; Blanc et al, 2021, Blanc et al., 2020).

dificultades, habilitadores y consecuencias sobre Incorporación de Tecnologías 4.0. Esto se utiliza como soporte para discusiones y conclusiones del presente trabajo.

4. Resultados

La muestra está compuesta por empresas manufactureras argentinas que pertenecen a los rubros de Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.; Elaboración de productos alimenticios y de Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos. Con una media de antigüedad de 38 años y con un promedio de 186 empleados, en cuanto al mercado la mayor parte de las firmas comercializa en el mercado nacional, aunque se dan casos que solo trabajan para el mercado provincial. El 33% de las firmas exportan (Tablas: 2 y 3).

Tabla 2: Antigüedad y cantidad de empleados

	Media	Mínimo	Máximo
Antigüedad	38	10	66
Empleados	186	3	650

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

Tabla 3: Mercado destino de los productos y servicios

Destino	Frecuencia
Nacional	91,70%
Provincial	33,33%
Exporta	33,33%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

De la medición realizada a los niveles de madurez de las empresas³ surge que el 58,4% de los casos se encuentran en un estadio inicial donde hay ausencia o se comenzó con el control de los datos, el 16,7% se encuentra en un nivel III que poseen rutinas avanzadas y un 25,0% está en el nivel IV de expansión donde los procedimientos de I40 no solo son usados por la firma si no que intentan transferirse a socios, clientes y proveedores.

Tabla 4: Estado de implementación de las empresas medido

Indicador Nivel de Madurez	%
I Ausencia	16,70%
II Control de datos	41,70%
III Rutinas Avanzadas	16,70%
IV Expansión	25,00%

³ Para mayor información sobre el instrumento ver: Blanc, R., Leprat, 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., Leprat, L., Rodríguez, A. y Hegglin, D. (2023). Modelos de madurez en industria 4.0 alternativa de medición y diagnóstico para empresas pymes. XX Congreso Latinoamericano de Gestión Tecnológica y de la Innovación.

Total	100,00%
-------	---------

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

A fin de situar la percepción de las firmas en cuanto al proceso de implantación de I40, se consultó a los empresarios que nivel de implementación consideraban que tenía su empresa y los resultados fueron los de la Tabla 5, observando las tablas 4 y 5 se puede ver que la percepción de los empresarios no es tan lejana a la medición coincidiendo los niveles inferiores y superiores, se da la dificultad de comparar dado la cantidad de niveles pero si se toma el nivel II y III (Tabla 4) como intermedio se puede ver un gran proximidad entre ambas tablas.

Tabla 5: Estado de implementación de las empresas percibido

¿En qué nivel describiría el estado de implementación de I40?	%
Escaso	25,00%
Intermedio	50,00%
Avanzado	25,00%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

Se consulto a la firma si la I40 era importante o no y si lo es actualmente o lo será en el futuro, el 8,33% expreso que no es importante y el 91,70% declaro que era importante para la competitividad de su negocio. Por el apartado temporal el 100% de las empresas que consideraron que era importante lo posicionaron en tiempo presente y no como una necesidad a futuro.

Los obstáculos de mayor frecuencia fueron los relacionados a lo financiero (volumen de inversión, dificultades de acceso al financiamiento y período de retorno excesivo), barreras a la importación de máquinas y equipos y RR.HH. (escasez de personal calificado), finalmente problemas con la heterogeneidad de los equipos (Tabla 6).

Tabla 6: Obstáculos expresados por las empresas

Obstáculo percibido	Frecuencia
Elevado costo de inversión	83,33%
Condiciones de crédito (tasa, monto y tiempo)	66,67%
Problemas para importar los equipos	33,33%
Falta de RR.HH. para instalación	16,67%
Falta de RR.HH. para mantenimiento	16,67%
Heterogeneidad de los equipos e incompatibilidad de los nuevos	8,33%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

Los empresarios expresaron que los impactos más comunes eran a nivel productividad tanto en incrementos de unidades por tiempo como en la elevación de las escalas de producción. Otro factor relevante es la reducción de desperdicios y retrabajos. Relacionado con los RR.HH. se expresa la necesidad de entrenamiento y en general cambios de habilidades de los mismos. En menor medida se habla de la posibilidad de acceso a nuevos mercados si se logra un nivel avanzado de I40 (Tabla 7).

Tabla 7: Impactos expresados por las empresas

Impacto percibido	%
Cambios en la productividad (cantidad/tiempo)	75,00%
Reducción de desperdicios	75,00%
Cambios en escala de producción (incrementos)	58,33%
Cambios en las habilidades o conocimientos de los RR.HH.	50,00%
Cambios en los niveles de confiabilidad de productos o procesos (cantidad de errores)	50,00%
Cambios en los niveles de agilidad procesos (capacidad de cambios rápidos de configuraciones)	33,33%
Acceso a nuevos mercados	33,33%

Fuente: elaboración propia en base a datos del relevamiento.

A continuación, se abordará la discusión sobre los resultados del trabajo en relación a su marco de referencia.

5. Discusión.

Consideramos tres dimensiones en nuestra discusión de los resultados: teórica, práctica y de políticas. En cuanto a la cuestión teórica, el estudio evidencia que los obstáculos de mayor importancia a la implementación de I40 en las pymes son: las elevadas inversiones, las dificultades de acceso al financiamiento, las dificultades de importación y escasez de personal calificado. De este modo, entendemos que el problema de la transferencia-adopción del paquete de I40, es un fenómeno de carácter sociotécnico. Es decir, requiere de modalidades de abordaje teórico que impliquen niveles desagregados de análisis abordando la relación entre humanos y artefactos (digitales) considerando procesos de feedback entre skills individuales, rutinas y sistemas de rutinas y la emergencia de capacidades en relación con las estrategias empresariales de transformación digital. Este tipo de perspectivas permite una mayor capacidad de interpretación de la trayectoria evolutiva de las firmas y sus sistemas de relaciones, en especial en pymes, y el ajuste de los procesos de preparación y adopción de tecnologías para la transformación digital (Feldman et al., 2021; D'Adderio, 2011).

Desde la perspectiva de la práctica, para los gestores de pymes, es fundamental considerar cuestiones tecnológicas como las escalas y compatibilidades de los equipos dado que hay disponibles en el mercado dado que se encuentran múltiples fabricantes de equipos y software. Por lo cual se debe

relevante lo que se encuentra en funcionamiento en la empresa al momento de evaluar incorporaciones tanto en software como hardware y relacionarlo con el volumen de producción mínimo y máximo en el caso de maquinarias. Lo anterior, estará vinculado al volumen de inversión por lo cual deberá tenerse en cuenta el origen de los fondos y las posibles alternativas de financiamiento. Otro aspecto relevante son las skills necesarias para el correcto manejo y mantenimiento tanto de equipos como software dado que hay casos en los cuales se necesitarán entrenamientos y formación a fin de no caer en problemas de dependencia tecnológica.

Comparando los resultados con mayor frecuencia de la Tabla 6 con la Tabla 7, vemos la presencia de RR.HH. tanto como una barrera por la falta de estos para mantenimiento e instalación de los equipos y como un impacto que genera la necesidad de entrenamiento de los mismos a fin de que puedan ponerse al corriente con las nuevas tecnologías.

Existen problemas más profundos, no sólo por el lado de las restricciones macroeconómicas que afectan a las pymes, sino también por el lado de una proyección a futuro en cuanto a skills y conocimientos desde el sistema educativo en general, y universitario en particular. Si bien el sistema educativo público y privado tiene un amplio espectro de carreras relacionadas a las tecnologías incluidas en I40, estas no alcanzan a tener la velocidad de cambio en las propuestas curriculares que exige la demanda en cuanto a los problemas y tecnologías del paquete I40. Este problema de agilidad y actualización no solo respecta al currículo, sino también a la generación de graduados en calidad y cantidad dado que existe una demanda insatisfecha con proyecciones negativas hacia el futuro (Artopoulos, 2020).

6. Conclusiones

La mayor parte de los empresarios considera que I40 es relevante y prioritario para mantenerse competitivo en el mercado. A pesar de esto se observa que el 75% de las firmas analizadas están entre un nivel escaso e intermedio de implementación y solo el 25% ha logrado un nivel avanzado. Esto es coincidente en cierta medida con la medición realizada por el proyecto. Aunque esta última ofrece más certeza sobre fortalezas y debilidades de la firma, ya que posee mayor precisión dado de es un indicador basado en múltiples variables.

Lo que nos lleva a la existencia de múltiples obstáculos a la implementación I40 los cuales son cubiertos en gran cantidad de casos por la oferta de políticas acordes, pero de baja adopción por el sector empresarial. Los obstáculos financieros, legales (importaciones) y relacionados a los RR.HH. son los de mayor importancia.

Los impactos esperados son positivos y sobre todos en aspectos relacionados con la productividad y calidad de los productos que puede ser vista de diferentes aspectos, tales como la confiabilidad y en

nivel de desperdicio del proceso productivo. Algunas empresas afirman que un incremento en su nivel tecnológico les permitiría ingresar a nuevos mercados.

Este estudio tiene limitaciones de escala que hacen que no se pueda inferir hacia la población de empresas pymes ni hacia el total de instrumentos disponibles. Pero da una idea de que existe necesidad de revisión de instrumentos de promoción para pymes en relación con los obstáculos para la implementación de I40. Y, por otra parte, se detecta la necesidad de cambios en los RR.HH. presentes en las empresas a fin de solventar carencias referentes a las mejoras en los procesos productivos.

Por otro lado, sería importante en futuras líneas de investigación continuar con la profundización de los principales obstáculos e impactos dentro de las firmas de los procesos relacionados a I40. Para esto se requieren de enfoques micro-organizacionales que consideren las relaciones entre skills, rutinas y capacidades organizacionales en relación con las estrategias de transformación digital de cada trayectoria de las firmas. Es importante también determinar qué perfiles de RR.HH. están en estado de vacancia en el presente y cuáles estarán a futuro. Y que nuevas rutinas y capacidades serán creadas y demandadas por las firmas cuando los procesos de I40 y digitalización sean generalizadas en la mayoría de las pymes.

7. Bibliografía

Artopoulos, A. (2020). Orígenes del subdesarrollo informacional de la industria del software al extractivismo de talento en Argentina (2002-2019).

Berger, Roland (2016). España 4.0: El reto de la transformación digital de la economía. Madrid: Siemens.

Blanc Rafael, Hegglin Daniel, Anselmino Carolina y Alvisto Francisco (2022a). Industria 4.0 análisis de condicionantes y desafíos. Jornada de Implementación y Gestión Sostenible de la Transformación Digital.

Blanc, Rafael; Lepratte, Leandro; Rodríguez, María Alejandra; Ruhl, Leonardo (2022b). La Industria 4.0 como horizonte de transformación para pymes. Obstáculos e instrumentos de políticas tecnológica. XV Jornadas Nacionales de Investigadores en Economías Regionales. UBA Agronomía.

Blanc, Rafael; Pietroboni, Ruben Mario; Cettour, Walter; Lepratte, Leandro (2021). "Modelos de madurez e implementación en industria 4.0 análisis de alternativas y nivel de implementación.". En *Memorias XIV COINI 2021*, Argentina: UTN Buenos Aires.

Blanc, Rafael; Pietroboni, Ruben Mario; Hegglin, Daniel (2020). "Modelos de madurez en la Industria 4.0 y su aplicación en la costa del Río Uruguay.". En *Memorias COINI XIII*, Argentina: UTN San Rafael.

- 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.
- Brixner, C., Isaak, P., Mochi, S., Ozono, M., & Yoguel, G. (2019). *Industria 4.0:¿ intensificación del paradigma TIC o nuevo paradigma tecnoorganizacional*. Buenos Aires: CIECTI.
- 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., Wamba, S. F., Roubaud, D., & Foropon, C. (2019). Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chainresilience. *International Journal of Production Research*.
- 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.
- Fernández Franco, S.; Graña, J.; Rikap, C. y Robert, V. (2022). *Industria 4.0 como sistema tecnológico: los desafíos de la política pública*. Ministerio de economía República Argentina.
- Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M. et al. (2020). Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics. *Ann Oper Res*.
- 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. *Int. J. Prod. Res.* 56 (1–2), 508–517.
- 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*, Volume 54, Pages 52-57, ISSN 2351-9789.
- 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, pages 136598.
- 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.

- 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*, Volume 81, Pages 624-629, ISSN 2212-8271.
- Motta, J., Morero, H. y Ascúa, R. (2019). *Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina*. Editorial: 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*, Volume 52, Issue 13, pp. 2189-2194, ISSN 2405-8963.
- 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. In *IEEE Engineering Management Review*, vol. 47, no. 3, pp. 87-94, 1 thirdquarter, Sept.
- Salunkhe and Å. Fast-Berglund, "Increasing operational flexibility using Industry 4.0 enabling technologies in final assembly," 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2020, pp. 1-5, doi: 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.
- Shivam, & Gupta, M. (2022). Quality process reengineering in industry 4.0: A BPR perspective. *Quality Engineering*, 35, 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) (2020). *The Singapore smart industry readiness index. Catalysing the transformation of manufacturing*.
- 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. *Int. J. Prod. Res.* 56 (1–2), 848–861.