

Industria 4.0 análisis de condicionantes y desafíos.

Blanc Rafael, Hegglin Daniel, Anselmino Carolina y Alvisto Francisco
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay
rafaellujanblanc@yahoo.com.ar

Eje: Gestión y Organización

Resumen

En el panorama actual la industria 4.0 se ha vuelto un debate de agenda tanto a nivel privado, académico y público. Es motivado por el interés de su implementación como ventaja competitiva lo que ha llevado al esfuerzo de múltiples actores. De los múltiples enfoques de su análisis surgen, por un lado, los centrados en drivers y obstáculos para su puesta en marcha, los enfocados en instrumentos públicos de promoción e impulso y finalmente los modelos de medición de estado (maturity models) que determinar posibles planes de acción para los involucrados (roadmaps). Este estudio tiene como objetivos: posicionar al lector en el estado de la cuestión sobre enfoques de drivers, obstáculos, modelos de medición e instrumentos de impulso, y analizar estas cuestiones en un caso de una firma avanzada en la implantación de tecnologías 4.0. Utilizando metodología de análisis organizacional cuantitativas y cualitativas se efectúa el estudio en profundidad del caso. En los resultados se expone un panorama amplio de los desafíos sobre implementación y mantenimiento de modelos de industria 4.0 como soportes para procesos de digitalización de negocios. Finalmente se plantea una agenda sobre futuras investigaciones.

Palabras claves: obstáculos; incentivos; políticas; industria; modelos de madurez; inteligente.

Industry 4.0 analysis of constraints and challenges.

Abstract

In the current scenario, industry 4.0 has become an agenda debate at both the private, academic and public levels. It is motivated by the interest of its implementation as a competitive advantage that has led to the effort of multiple actors. From the multiple approaches of its analysis arise, on the one hand, those focused on drivers and obstacles to its implementation, those focused on public instruments of promotion and impulse and finally the models of

measurement of state (maturity models) that determine possible action plans for those involved (roadmaps). This study aims to: position the reader in the state of the art on driver approaches, obstacles, measurement models and impulse instruments, and analyze these issues in a case of an advanced firm in the implementation of 4.0 technologies. Using quantitative and qualitative organizational analysis methodology, the case study is carried out. The results present a broad overview of the challenges on implementation and maintenance of industry 4.0 models as supports for business digitization processes. Finally, an agenda for future research is proposed.

Key words: barriers; obstacles; incentives; policies; industry; maturity models; smart.

1 Introducción

En la discusión académica actual y en los planteos de políticas para el apoyo a empresas ha habido un crecimiento sostenido sobre la temática de la denominada Industria 4.0 (I40). Que son un conjunto de tecnologías electrónicas y digitales que se han consolidado en un conjunto a fin de ser nombradas con una forma sencilla y atractiva tanto para los hacedores de políticas como para los empresarios. Si bien las tecnologías no son nuevas, el abaratamiento de los costos y el impulso de las mismas por los países centrales ha llevado a la expansión del término a nivel mundial. La misma corriente es denominada de otras formas dependiendo del espacio donde se encuentre como: “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 elevada y 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 I40 a nivel regional y mundial, se vuelve un componente clave y su implementación, aunque no sea en forma completa, de estas tecnologías a fin de poder competir en el mercado. 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).

Por lo anterior este estudio tiene como objetivos: posicionar al lector en el estado de la cuestión sobre enfoques de drivers, obstáculos, modelos de medición e instrumentos de impulso, y analizar estas cuestiones en un caso de una firma avanzada en la implantación de tecnologías 4.0. Utilizando metodología de análisis organizacional cuantitativas y cualitativas se efectúa el estudio en profundidad del caso.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. Las barreras a I40 en la sección 2. En la sección 3 se presentan políticas e incentivos a I40, luego en la sección 4 se

analizan y definen los modelos de madurez. En la sección 5 se explica la metodología de trabajo, a continuación, en la sección 6 se analizan los resultados hallados en el caso relevado. A partir de lo anterior, en la sección 7, se revisa y concluye el artículo con otras sugerencias de trabajo.

2 Barreras a 4.0

De la bibliografía especializada en 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) surge la siguiente tabla como detallando los principales obstáculos y su descripción.

Tabla 1. Principales obstáculos a I40 y su descripción.

Costo de inversión y riesgo financiero.	Los problemas para acceder a fondos y el elevado costo del equipamiento y su puesta a punto, hace largos los retornos de las inversiones. En empresas pymes hay dificultades para lograr acceder a crédito para financiar estos proyectos.
Problemas de integración y compatibilidad.	La integración de nuevos equipos y sistemas en gran cantidad de casos es compleja. Las pymes trabajan con equipos de diversas generaciones, por lo cual la su combinación y la interoperación con diferentes tipos de software no es sencilla.
Falta de un estándar consolidado y arquitecturas comunes.	Si bien hay estándares no todos los equipos utilizan los mismos, siendo en casos diferentes de acuerdo al fabricante siendo una barrera para la automatización.
Falta de interés y comprensión sobre los beneficios la industria 4.0 en las empresas.	Tanto la gerencia como el personal no comprende la importancia de la I40 para su negocio y prefiere destinar los fondos de inversión disponibles a otros sectores de la empresa.
Formación de los empleados.	El nivel de competencias para el uso y mantenimiento de tecnologías 4.0, las pymes no cuentan en lo común con personal especializado en estas ramas tecnológicas lo cual dificulta búsqueda y asimilación de tecnologías disponibles.
Escala de equipos y demanda.	La escala de los equipos automatizados es en general elevada por lo cual puede que los mismos tengan una elevada capacidad ociosa para empresas pymes a este fenómeno se suma la incertidumbre de la demanda que no asegura poder colocar más producto en el mercado lo cual crea un obstáculo a la automatización.
Limitaciones de infraestructura de conectividad.	La industria 4.0 depende en gran parte de las comunicaciones como son las redes de banda ancha y las redes de comunicación por telefonía celular, existen regiones que no se encuentran conectadas o donde las conexiones son de calidad insuficiente para soportar I40.
Baja sofisticación de la demanda.	La propia naturaleza de la actividad productiva de la empresa, en general los productos primarios no admiten gran sofisticación en sí mismo, pero si en sus modelos de

	producción. No ocurre lo mismo los productos un nivel tecnológico elevado.
--	--

Fuente: Elaboración propia.

3 Políticas y herramientas de promoción de I40

Dada la importancia de I40 a nivel global como el posible nuevo paradigma de producción; los gobiernos de diferentes estados han tomado la decisión de desarrollar políticas de apoyo y promoción con el fin agilizar la adopción de I40 por parte del entramado industrial de las regiones (Teknikföretagen, 2013; Norden, 2015; Larosse, 2017; Mattauch, 2017; MINCOTUR, 2020).

Estos apoyos pueden se clasificados en cuatro ramas:

- I) Difusión de I40, acciones destinadas a la puesta en conocimiento y sensibilización por parte de los actores involucrados;
- II) Marco institucional y políticas, marco normativo y planes para la aplicación de incentivos hacia I40;
- III) Apoyo financiero, diferentes modelos de fondos para implementación;
- IV) Asesoramiento, para la industria I40

Tabla 2: Apoyos y herramientas de promoción de industria 4.0.

I) Difusión de I40	II) Marco institucional y políticas
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.	Políticas nacionales. Políticas regionales. Políticas sectoriales. Políticas de cooperación estado empresa. Políticas de cooperación empresa – empresa. Planes anuales y plurianuales de desarrollo.
III) Apoyo financiero	IV) Asesoramiento
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.	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.

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)	Búsqueda de tecnologías.
--	--------------------------

Fuente: elaboración propia.

Si se compara los obstáculos con los objetivos de las incitativas de apoyo a la I40 por parte de los estados, regiones y actores y los obstáculos se puede arribar a un cruce entre ambas de la siguiente forma (Tabla 3):

Tabla 3: Apoyo y obstáculo al que aplica.

I) Difusión de I40	II) Marco institucional y políticas
Falta de interés y comprensión sobre los beneficios la industria 4.0 en las empresas. Formación de los empleados.	Son el soporte normativo para los cuadrantes de difusión, apoyo financiero y asesoramiento.
III) Apoyo financiero	IV) Asesoramiento
Costo de inversión y riesgo financiero. Problemas de integración y compatibilidad. Limitaciones de infraestructura de conectividad.	Falta de interés y comprensión sobre los beneficios la industria 4.0 en las empresas. Formación de los empleados.
No resuelto	
Baja sofisticación de la demanda. Escala de equipos y demanda. Falta de un estándar consolidado y arquitecturas comunes.	

Fuente: elaboración propia

Hay un solapamiento dentro de los facilitadores hacia los obstáculos. Un obstáculo puede ser en general abordado por más de un camino como puede ser el apoyo financiero y el asesoramiento, por su parte las políticas también suelen solaparse pudiendo una empresa acceder a políticas sectoriales y regionales no siendo estas excluyentes. Existen obstáculos no resueltos y que son de mayor nivel de complejidad para su solución, a los cuales debería prestarles especial atención. En el próximo apartado se presentarán los resultados obtenidos para la provincia de Entre Ríos en relación a los puntos anteriores.

4 Modelos de Madurez

Los modelos de madurez (MM) implican un análisis meticuloso de la organización para identificar brechas y debilidades en la adopción de tecnologías 4.0. El diagnóstico se realiza 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. El relevamiento de datos se efectúa mediante cuestionarios que abordan el análisis de los procesos principales y son realizados con entrevistas con el personal involucrado para identificar brechas tanto de los procesos como de las habilidades. El resultado del análisis se utiliza como fuente para el cálculo del nivel de madurez tecnológica de la organización, donde dependiendo de un valor alcanzado será el nivel madurez asignado a esa área (Canetta, Barni y Montini, 2018; Blanc et al., 2021). Las métricas de nivel de madurez permiten la comparación entre varias organizaciones consideradas en términos de los niveles sobre todo si pertenecen al mismo sector. Su contribución de mayor importancia es como una hoja de ruta (roadmap), lo que permite a las empresas iniciar la transformación en post de la implementación de la Industria 4.0.

Si bien existen múltiples modelos dos de gran nivel de desarrollo son los modelos Acatech y SIRI. El modelo Acatech pertenece a la Academia Alemana de Ciencia e Ingeniería. Esta asociación toma estándares académicos de las ingenierías y de las ciencias y técnicas alemanas para asesorar a políticos y al sistema público en temas del futuro relacionados a la aplicación de las tecnologías y la política tecnológica. El MM Acatech (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013, Schuh et al., 2017, Schmitz, 2020) permite a las organizaciones identificar su estado respecto a la etapa de digitalización hacia la Industria 4.0. Las evaluaciones se realizan en el contexto de la organización, con un enfoque en los procesos de las empresas de fabricación y al ambiente asociado al mismo. El proceso de aplicación en tres fases, en la primera fase de diagnóstico del estado de madurez de la firma, seguido en la segunda por un plan de mejoras o desarrollo de capacidades en los puntos débiles, finalmente en el último paso se realiza una planificación para su aplicación. Los niveles o stages en que puede estar los pueden estar las diferentes áreas estructurales son seis, siendo el primero la de menor desarrollo y el sexto el de máximo desarrollo. Las denominaciones de las etapas son: uno Informatización, dos conectividades, tres Visibilidad, cuatro transparencias, cinco capacidades predictiva y finalmente seis adaptabilidades.

El Índice de preparación para la industria inteligente de Singapur (SIRI) (Singapore Economic Development Board A, 2020, Singapore Economic Development Board B, 2020) es un MM que se creó para ayudar a las empresas a comprender los beneficios de la Industria 4.0 mediante la identificación de las debilidades y los pasos necesarios para la adopción de la

Industria 4.0. Consta de cuatro pasos: primero aprender conceptos clave y crear un lenguaje común, segundo evaluar los niveles de madurez actuales de la Industria 4.0 de las instalaciones existentes, tercero diseñar una estrategia integral de transformación y una hoja de ruta de implementación, cuarto puesta en marcha de las iniciativas de transformación. Se compone de tres áreas fundamentales en la Industria 4.0, Tecnología, Procesos y Organización, que están respaldados por ocho componentes clave. Para evaluar a las empresas que utilizan SIRI, las tres áreas de construcción y a las ocho componentes se les asignan a varias dimensiones de evaluación. Las dimensiones son evaluadas numéricamente desde cero a cinco o cero a seis dependiendo del caso, siendo cero el límite inferior y cinco o seis el máximo de desarrollo de la dimensión. Si bien ambos son similares el modelo ACATECH y sus adaptaciones son los de mayor utilización en Argentina por lo cual es relevante su conocimiento.

5 Metodología

Los estudios de preparación y adaptación exploran enfoques micro-organizacionales y sociotécnicos (Davies, Coole y Smith, 2017). Asumiendo supuestos sobre trayectorias evolutivas de las firmas y capacidades dinámicas digitales (Pierce, Boerner y Teece, 2008; Rodriguez, Lepratte y Rabetino, 2021) planteamos la metodología con alcances exploratorios. El enfoque de investigación utilizado es el de estudio de casos comparativos (Aaboen, Dubois y Lind, 2012). En el marco del proyecto¹ nos encontramos realizando entrevistas pymes con diferentes niveles de integración de I40 en Argentina. Dentro de las 10 pymes relevadas se seleccionaron firmas para hacer entrevistas en profundidad una de las cuales es la escogió para el resultado del trabajo. Se seleccionaron firmas (casos) conforme a una serie de criterios de avance en el uso de tecnologías 4.0 como: hardware, software, uso de datos generados por los sistemas y adaptabilidad de los procesos. Las entrevistas se efectuaron en 2 momentos: Momento 1. sobre trayectoria y desarrollo del marco I40. Momento 2. Entrevista sobre dificultades y ventajas de la implementación de I40 (ambos entre julio de 2021 y marzo de 2022).

Se utilizó un formulario de preguntas semi-estructurado, con una serie de dimensiones de preguntas abiertas para las entrevistas. Para el análisis del material discursivo de las entrevistas se utilizó la perspectiva de teoría fundamentada (Strauss y Corbin, 1990; Glaser y Strauss, 2017).

¹ "Evaluación y diseño de modelos de madurez para industria 4.0 orientados a pymes"

6 Resultados

Con el fin de poner de reflejar de contrastar el marco teórico con la realidad se analiza un caso y se observa el comportamiento en cuanto a los temas anteriores.

Caracterización de la firma: Es un laboratorio de lentes oftálmicas fundado en 1964, que tiene como destino el mercado nacional de confección de anteojos recetados. Cuenta con centros propios de distribución en todo el país y más de 100 empleados. Importan y terminan lentes de stock de Asia, Alemania o Estados Unidos y son distribuidores oficiales de una reconocida marca mundial de lentes en Argentina. Posee equipos de mejora de productos estables y sus mandos medios y gerencia tienen elevado nivel de formación académica.

Preparación y adopción de I40: Se estiliza en este apartado el proceso de preparación y adopción para la integración del marco de I40. El proceso de adopción se caracteriza por grandes bloques que son: tecnológica (software y hardware) y de capital humano.

Tabla 4. Proceso de adopción de I40

Preparación y adopción del proceso de 4.0	Punto de partida en el equipo de implementación de industria 4.0, en el año 2017 envían al equipo a Estados Unidos a formarse en cómo se produce con 4.0 en su sector. Si bien la empresa contaba ya con software y máquinas automáticas no había logrado un nivel integral de uso.
Adopción de Software	Incorporación Software ERP (más de diez años), que se va ajustando a medida que se ingresan nuevos equipos o procesos a la empresa. Se le solicitaba al fabricante de equipo la compatibilidad con los protocolos del ERP.
Adopción de Hardware	Se incorporaron Actuadores, sensores, plc, hmi, red cableada, estaciones de trabajo. Máquinas de origen alemán de proveedores relacionados lo que permite una correcta integración dentro de la línea.
Desarrollo del capital humano	Cambios sobre todo en el personal de mantenimiento que tiene nivel de grado. Progresivamente desarrollan círculo de implementación de I40. Se les financia el desarrollo de posgrados en diferentes disciplinas relacionadas con automatización y digitalización.

Fuente: elaboración propia

La firma cuenta con la necesidad de resolver problemas de elevado nivel de precisión para evitar desperdicios o retrabajos y responder a múltiples clientes con diferentes necesidades y realiza planificaciones con metas ajustables de largo plazo para efectuar el proceso de digitización. Se evidenció la incorporación de una sólida base de hardware coordinada por un software de control integral de tipo ERP soportado por un tercero y customizado por la firma. Los procesos de implementación tanto del hardware y el software de control fueron procesos largos alrededor de 10 años y con elevados costos. Se apreció un compromiso de la gerencia y de los mandos medios de ingeniería hacia la automatización y digitización de procesos. Así

también procesos de desarrollo organizacional y capital humano especializado en I40. Las mejoras para la pyme fueron: flexibilidad, control, calidad, nivel de desperdicio y disminución de retrabajos. Además, hubo un incremento en la información disponible para establecer pronósticos e indicadores de rendimiento.

Tabla 5. Financiamiento, obstáculos y ventajas.

Apoyo y herramientas	La firma no accedió a apoyos para la implementación de industria 4.0 su evolución en la implementación fue a partir de reinversión de utilidades. Utilizan formación del sistema educativo nacional como extranjero a fin de poder mantenerse al día en las nuevas temáticas.
Modelo de medición	La empresa no fue auditada mediante modelos de medición como el SIRI o ACATECH. Su roadmap proviene por una parte de los proveedores de maquinaria y sus competidores y por otra parte del grupo permanente de personas dedicadas a modernización tecnológica que posee la empresa.
Obstáculos	Elevadas Inversiones, necesidad de capacitación de personal y toma de nuevos perfiles para la operación y mantenimiento.
Ventajas	Coordinación del sistema, reducción de desecho, disminución de retrabajos y mejora de la calidad del producto.

Fuente: elaboración propia

La empresa no accedió a herramientas de promoción de I40 dado que en los inicios del proceso de automatización eran anteriores al desarrollo de instrumentos a nivel nacional, lo cual hizo que financiara el mismo con reinversión de utilidades. Su hoja de ruta proviene de lo que planea el grupo dedicado I40 que tienen un elevado nivel de formación y realiza una vigilancia tecnológica activa. La empresa tuvo obstáculos financieros dado las elevadas inversiones del proceso y fue necesario actualizar las capacidades de competencias de sus empleados a fin de que puedan operar y mantener el sistema de producción. I40 beneficio a la firma con la disminución de piezas defectuosas y un nivel de precisión en el proceso acorde a estándares internacionales que le permitió por un lado mantenerse en el mercado nacional y por otra parte expandirse y ser uno de los referentes para empresas del exterior que los utilizan como proveedores especializados en Argentina.

7 Conclusiones

En forma de conclusiones provisionarias reconocemos que las barreras más elevadas hacia la automatización y digitización de pymes son por un lado problemas de financiamiento, y por otro de tipo temporal dado que son procesos prolongados con elevadas erogaciones. Si bien existe una amplia oferta de instrumentos de financiamiento se da el problema de calificar a los mismos y que el alcance sea acorde al proyecto y los montos necesarios estén disponibles en tiempo y forma.

Si bien la firma relevada no utiliza análisis de MM, es relevante profundizar en el desarrollo de estos modelos como herramienta de diagnóstico y planificación del proceso de implementación de I40 adaptados para firmas de pequeño tamaño. Dado el coste y la dificultad de implementación de los modelos tradicionales. Se deduce por lo anterior que la escala es relevante para poder llevar a cabo la introducción del marco de I40.

Hay problemas inherentes a la demanda y a los equipos que son de difícil solución tanto por parte de los empresarios como por parte de las herramientas de promoción. Cuestiones como el tipo de producto, el tamaño de mercado y la escala mínima de equipo. Lo que plantea la necesidad de investigar si todos los sectores tienen la misma permeabilidad a la incorporación de I40.

Surge de lo anterior la pregunta de ¿cómo crear instrumentos públicos y privados que permitan acceso de las empresas al potencial de la I40?, si bien existen actualmente no responden a la heterogeneidad de los procesos micro-organizacionales.

Por otra parte, se evidencian otras barreras internas y externas que están relacionadas con las skills de los recursos humanos que operan los equipos y realizan el mantenimiento de los mismos. Otro interrogante es como reforzar el sistema de conocimiento para desarrollar más proveedores especializados y personal con las competencias necesarias sin la necesidad de entrenamiento extra por parte las firmas y proveedores equipos.

Este estudio se encuentra dentro de un proyecto de investigación en desarrollo² por lo cual se plantea seguir avanzando en un diagnóstico cuali cuantitativo a fin de poder aportar conocimiento que sea de utilidad tanto para empresarios como para tomadores de decisiones de instrumentos públicos y privados.

² "Evaluación y diseño de modelos de madurez para industria 4.0 orientados a pymes"

8 Bibliografía

- Aaboen, L., Dubois, A., & Lind, F. (2012). Capturing processes in longitudinal multiple case studies. *Industrial Marketing Management*, 41(2), 235-246.
- Berger, Roland (2016). *España 4.0: El reto de la transformación digital de la economía*. Madrid: Siemens.
- Blanc, Rafael; Pietroboni, Rubén M.; Cettour, Walter; Lepratte, Leandro (2021). Modelos de madurez e implementación en industria 4.0 análisis de alternativas y nivel de implementación. XIV COINI 2021 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI – UTN FR Buenos Aires.
- 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).
- Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 1288-1295.
- 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*.
- 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*.
- Glaser, B. G. y Strauss, A. L. (2017). *Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Routledge.
- 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. *Int. J. Prod. Res.* 56 (1–2), 508–517.
- Larosse, Jan (2017). *Analysis Of National Initiatives On Digitising European Industry*. France: Alliance Industrie Du Futur.

Mattauch, Walter (2017). Digitising European Industries - Member States Profile: Germany.

MINCOTUR (2020). Estrategias para el fomento de la Industria 4.0 en ESPAÑA. Ministerio de Industria comercio y turismo de España.

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, 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.

Pierce, J. L., Boerner, C. S., & Teece, D. J. (2008). Dynamic capabilities, competence and the behavioral theory of the firm. *Technological know-how, organizational capabilities, and strategic management*, 53-68.

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.

Rodríguez, M. A., Lepratte, L., & Rabetino, R. (2021). Dynamic Capabilities as Enablers of Digital Servitization in Innovation Ecosystems: An Evolutionary Perspective. In *The Palgrave Handbook of Servitization* (pp. 181-195). Palgrave Macmillan, Cham.

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.

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.

Singapore Economic Development Board A (2020). The Singapore smart industry readiness index. Catalysing the transformation of manufacturing.

Singapore Economic Development Board B (2020). The Prioritisation Matrix. Catalysing the transformation of manufacturing.

Strauss, A. y Corbin, J. M. (1990). Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc, 1990.

Teknikföretagen (2013). Made in Sweden 2030. Strategic Agenda for Innovation in Production. Association of Swedish Engineering Industries (Teknikföretagen)

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.