

PYMES CON APLICACIÓN AVANZADA DE INDUSTRIA 4.0.

ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS

Blanc, Rafael; Hegglin, Daniel, Ruhl, Leonardo, Pietroboni, Rubén M.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultada Regional Concepción del Uruguay
rafaellujanblanc@yahoo.com.ar

EJE 3: Innovación en PyMEs y nuevos modelos productivos.

1. Introducción.

La Industria 4.0 (I 4.0), se impulsará en forma sostenida en economías desarrolladas y a través de empresas multinacionales (Masood y Sonntag, 2020).

Ahora bien, la automatización y transformación digital impulsan procesos de transferencia de tecnologías a países en desarrollo, con fuerte presencia de pymes.

Sin embargo, las pymes tienen una serie de obstáculos al momento de adoptar el marco de la Industria 4.0. Este problema es evidenciado en estudios de economías desarrolladas como así también en desarrollo (Sommer, 2015, Casalet, 2018; Motta, Morero y Ascúa, 2019; Peillon y Dubruc, 2019; Raj et. al, 2020), dando lugar a una línea de estudios sobre preparación y adaptación de los modelos de madurez e implementación de procesos de transformación hacia la Industria 4.0 en pymes (Stentoft et al, 2021).

El artículo tiene por objetivo profundizar en la comprensión de los procesos de preparación y adopción del marco tecnológico de Industria 4.0 en las pymes¹.

Para esto se analizan en profundidad las trayectorias de dos pymes de diferentes rubros que lograron cierto nivel de digitización.

2. Marco teórico de referencia

El concepto “Industria 4.0” de origen en Alemania se ha identificado como un marco sociotécnico de mejora de la flexibilidad de producción y aumento de la productividad fundamentalmente. Esto es posible en gran medida gracias al proceso de digitización: conectividad, automatización, intercambio rápido y análisis de la información,

¹ El presente artículo es un trabajo en progreso que presenta resultados preliminares y de carácter exploratorios. Forma parte del Proyecto "Evaluación y diseño de modelos de madurez para industria 4.0 orientados a pymes" que se encuentra en desarrollo y apunta a estudiar en profundidad 15 casos en Argentina de diferentes sectores.

alcanzando una nueva dimensión de flexibilidad al planificar y controlar los sistemas de producción (Dubey et al., 2019; Fragapane et al, 2020; Salunkhe y Fast-Berglund; 2020). Esto habilita a que las firmas desarrollen procesos de transformación digital (digitalización) de la industria que implica la transición hacia modelos de negocios que se basen en las infraestructuras y procesos de digitización (Masood y Sonntag, 2020; Majstorovic et al, 2021). Ahora bien, estos procesos encuentran limitaciones en su adopción en pymes (Müller y Voigt, 2017; Mittal et al., 2018; Majstorovic et al., 2021), apareciendo obstáculos endógenos y exógenos (Kamble, Gunasekaran y Sharma, 2018; Müller, 2019; Rauch, Dallasega y Unterhofer, 2019). Es necesario explorar modelos de adopción e integración de estos procesos I 4.0 en pymes (Stentoft et al, 2021).

3. 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 proyecto² nos encontramos realizando entrevistas pymes con diferentes niveles de integración de I 4.0 en Argentina. Dentro de las 10 pymes relevadas hasta el momento seleccionamos 2 para hacer entrevistas en profundidad. 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 I 4.0. Momento 2. Entrevista sobre dificultades y ventajas de la implementación de I 4.0 (ambos entre julio de 2021 y marzo de 2022)³.

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

³ 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).

4. Resultados y conclusiones.

4.1. Caracterización de los casos.

A-MET	B-OFTLAB
Es una metalúrgica de control familiar que comienza desde 1975 con una serie de productos mecánicos creados a través la aplicación de tornería CNC al hierro como por ejemplo engranajes para la realización de máquinas para el agro y para automotores. Es una empresa de alcance nacional trabajando para diferentes proveedores de industria automotriz y de maquinaria. Posee un sistema de gestión certificado por normas de calidad ISO 9001-2015. Se encuentra radicada en un parque industrial y cuenta con más de 100 empleados.	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.

4.2. Preparación y adopción de I 4.0

Se estiliza en esta sección el proceso de preparación y adopción para la integración del marco de I 4.0. La dimensión de adopción se caracteriza por dos subdimensiones: tecnológica (software y hardware) y de capital humano⁴.

Tabla 1. Dimensiones adopción e integración de I 4.0

Caso	A-MET	B-OFTLAB
Preparación y adopción del proceso de 4.0	A partir del año 2013 mediante la implementación del sistema de calidad, donde los grupos de mejora posicionaron a la automatización como una solución a errores y demoras en el proceso productivo.	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 parametrizado para el proceso productivos que posee la planta.	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 diferentes proveedores, algunas automatizadas para adaptarlas al ERP (retrofitting).	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	Se dieron entrenamientos en los recursos humanos del sector mantenimiento, hubo que reposicionar puestos que no eran necesarios o se resistían al uso de las nuevas tecnologías.	Cambios sobre todo en el personal de mantenimiento que tiene nivel de grado. Progresivamente desarrollan círculo de implementación de I 4.0. Se les financia el desarrollo de posgrados en diferentes disciplinas relacionadas con automatización y digitalización.

⁴ Para este resumen se presenta un cuadro comparativo. En la versión completa se estilizará la trayectoria de preparación y adopción con mayor profundidad.

4.3.Trayectorias comparadas.

Las dos firmas si bien son de sectores diferentes presentan esfuerzos de integración del marco I 4.0. Esto se debe inicialmente a que los productos están apuntados por un lado a la metalmecánica y por otro a la salud humana, pero comparten la necesidad de resolver problemas de elevado nivel de precisión para evitar desperdicios o retrabajos y responder a múltiples clientes con diferentes necesidades. Ambas empresas efectuaron planificaciones con metas ajustables de largo plazo para efectuar el proceso de digitización.

En ambos casos se evidenció la incorporación de una sólida base de hardware coordinada por un software de control integral de tipo ERP, en un caso incorporado y desarrollado a medida la parametrización por la empresa (A-MET) y en otro soportado por un tercero y customizado por la firma (B-OFTLAB). Los procesos de implementación tanto del hardware y el software de control en ambos casos fueron de entre 5 y 10 años y con elevados costos.

En ambas pymes 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 I 4.0.

Las mejoras para las pymes 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 2. Financiamiento, obstáculos y ventajas.

Caso	A-MET	B-OFTLAB
Financiamiento	Al principio con fondos propios, luego tuvo una fuerte inyección de fondos públicos para los cambios sin los cuales no hubiera sido posible el nivel actual de automatización.	A partir de reinversión de utilidades.
Obstáculos	Elevadas Inversiones, plazos largos de implementación, entrenamiento de personal, simulaciones de procesos complejas y soporte técnico	Elevadas Inversiones, necesidad de capacitación de personal y toma de nuevos perfiles para la operación y mantenimiento.
Ventajas	Flexibilidad sobre todo dado que la empresa produce piezas sobre planos para diferentes fabricantes, organización de la producción, reducción de tiempos muertos, mejora en el cumplimiento de tiempos de entregas con los clientes y seguimiento de las ordenes de producción.	Coordinación del sistema, reducción de desecho, retrabajos y mejora de la calidad del producto.

En forma de conclusiones provisionarias reconocemos que las barreras más duras 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 y sostenidos.

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. Se deduce por lo anterior que la escala es relevante para poder llevar a cabo la introducción del marco de I 4.0. Estas evidencias están en línea con la literatura especializada.

Surge la pregunta de ¿cómo crear instrumentos públicos y privados que den acceso a pymes al potencial de la I 4.0?, si bien existen actualmente no responden a la heterogeneidad de los procesos micro-organizacionales. 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. Un enfoque sobre capacidades digitales dinámicas y modelos de madurez acordes a las trayectorias de pymes es requerido.

Bibliografía

- Aaboén, L., Dubois, A., & Lind, F. (2012). Capturing processes in longitudinal multiple case studies. *Industrial Marketing Management*, 41(2), 235-246.
- Casalet, M. (2018). La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa. *Estudios de casos*.
- 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 chain resilience. *International Journal of Production Research*.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research, *AMR*, vol. 14, n.o 4, pp. 532-550, oct. 1989, doi: 10.5465/amr.1989.4308385.
- 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.
- 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.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E.R., Ramos, L.F., 2017. Past, present and future of Industry 4.0 a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 55 (12), 3609–3629.
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261.
- 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.
- Motta, J., Morero, H., & Ascúa, R. (2019). Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina.
- Müller JM, 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.
- Peillon, S., & Dubruc, N. (2019). Barriers to digital servitization in French manufacturing SMEs. *Procedia CIRP*, 83, 146-150.
- 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.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546.
- 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.
- Sommer, L. (2015). Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(5), 1512-1532.
- Stentoft, J., Adbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2021). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control*, 32(10), 811-828.
- Strauss, A. y Corbin, J. M. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc, 1990.
- Tariq Masood, Paul Sonntag, *Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs*, *Computers in Industry*, 121, October 2020, 103261. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>.
- Vidosav Majstorovic, Goran Jankovic, Srdjan Zivkov, Slavenko Stojadinovic. (2021). Digital Manufacturing in SMEs based on the context of the Industry 4.0 framework – one approach,
- 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.