

Industria 4.0 en la Provincia de Buenos Aires (Argentina) ^ξ

Industry 4.0 in the Province of Buenos Aires (Argentina)

*Mariela Carattoli**

*Daniel Hoyos Maldonado***

Resumen

En este trabajo se exponen resultados de una investigación exploratoria realizada con el objeto de analizar el proceso de difusión y adopción de tecnologías estratégicas de la Industria 4.0 en el sector industrial bonaerense y delinear recomendaciones de política a escala subnacional. Se conformó a tal fin un panel de 55 empresas industriales bonaerenses. Los resultados (parciales) muestran desiguales grados de adopción de las tecnologías 4.0, en línea con la marcada heterogeneidad en términos de escala productiva y capacidades tecnológicas de las firmas en el territorio bonaerense, y una trayectoria tecnológica asociada a la industria 4.0 en la Provincia de Buenos Aires, que aún se encuentra en una fase inicial de la curva de adopción. A partir de la identificación de barreras y tipologías de empresa, se propone una taxonomía de las políticas de promoción susceptibles de ser ejecutadas a nivel sub nacional.

Palabras Claves: Industria 4.0; Buenos Aires; Políticas; Subnacional; Adopción

Códigos JEL: O33; L60; O25

Abstract

This paper presents the results of an exploratory investigation aimed at analyzing the diffusion and adoption process of strategic Industry 4.0 technologies in the industrial sector of Buenos Aires province, and outlining policy recommendations at the subnational level. For this purpose, a panel of 55 industrial companies from Buenos Aires province was formed. The (partial) results show unequal degrees of adoption of Industry 4.0 technologies, in line with the marked heterogeneity in terms of productive scale and technological capabilities of firms in the Buenos Aires territory, and a technological trajectory associated with Industry 4.0 in the Province of Buenos Aires, which is still in an early phase of the adoption curve. Based on the identification of barriers and company typologies, a taxonomy of promotion policies that could be implemented at the subnational level is proposed.

^ξ - Recibido 20 de noviembre de 2023 / Aceptado 5 de febrero de 2024

* Doctora en Administración. Centro de Estudios en Administración. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. mariela.carattoli@econ.unicen.edu.ar

** **Doctor en Economía. Centro de Estudios en Administración. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. daniel.hoyos@econ.unicen.edu.ar

Keywords: Industry 4.0; Buenos Aires; Políticas; Sub-nacional; Adoption

JEL Codes: O33; L60; O25

1 Introducción

Existe un debate en la literatura académica en torno a los alcances de la Industria 4.0. Mientras algunos autores consideran que estamos en presencia de un conjunto de sistemas tecnológicos interconectados (Franco *et al.*, 2022), otros le atribuyen la categoría de revolución industrial, por el potencial que tienen estas tecnologías de generar un salto disruptivo en el progreso industrial, promoviendo cambios fundamentales en la economía y en la sociedad (Petrillo *et al.*, 2018; Pérez, 2005). Más allá de este debate, los autores coinciden que existe una transformación profunda del proceso manufacturero que ha generado una nueva identidad para el sector, enmarcada en la denominada Industria 4.0 (Stăncioiu, 2017; Morrar *et al.*, 2017; Koh *et al.*, 2019).

La implementación de estas tecnologías, está generando a nivel mundial grandes transformaciones, asociadas a la necesidad de satisfacer demandas personalizadas y de ciclo corto, generar economías de escala y alcance en forma simultánea y lograr la generación, circulación y control de información y conocimiento en cadenas globales de valor, con impactos significativos sobre la productividad de las firmas y en términos agregados (Yoguel *et al.*, 2021). Como consecuencia, diferentes gobiernos (nacionales y subnacionales), han incorporado en sus agendas el concepto de Industria 4.0 como una cuestión estratégica, elaborando planes a fin de transformar el sector industrial (Oztemel y Gurzev, 2020). Entre los países más activos en este tema, se pueden mencionar Reino Unido, Italia y Francia, en Europa; China, Corea del Sur, Japón y Taiwán, en Asia y Estados Unidos en América. El desarrollo de estos planes requiere contar con información respecto de las capacidades locales para la producción de estas tecnologías, así como sobre las características que asumen los procesos de difusión y adopción de tecnologías de la industria 4.0 en cada territorio específico.

A nivel latinoamericano se observan importantes limitaciones a la hora de implementar el modelo de industria 4.0, e incluso aún existen dificultades para adoptar el modelo anterior de industria 3.0 (Franco *et al.*, 2022). La proporción de empresas manufactureras que emplean tecnologías 4.0 alcanza solo al 1.2%, predominando, por oposición, métodos y procesos rígidos y analógicos, con uso estanco de tecnología digital (ONUDI, 2021).

En Argentina, en particular, salvo algunas excepciones (Nieponice *et al.* 2018; Basco *et al.*, 2018; Motta *et al.*, 2019; Erbes *et al.*, 2019; y Bartis, 2020), pocos trabajos han avanzado empíricamente en analizar las características idiosincráticas que asumen los procesos de difusión y adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en el entramado industrial local. Según datos de ONUDI (2019), Argentina está dentro de un grupo de 17 países usuarios, pero no productores, de tales herramientas tecnológicas. La medida de adopción es de 3%, casi el doble que el promedio latinoamericano, liderado por grandes empresas o pymes industriales en sectores dinámicos y/o exportadores (ONUDI, 2021). No obstante, la tecnología preponderante en la industria manufacturera, corresponde a la generación tecnológica 2.0, lo cual implica conectar distintas funciones y actividades hacia el interior de la firma, sin integración de las tecnologías operacionales con las tecnologías de información y comunicación (TIC).

A fin de generar nueva evidencia empírica, este estudio, de carácter exploratorio, se propone analizar las características que asume el proceso de difusión y adopción de un conjunto de tecnologías estratégicas de la Industria 4.0, en un contexto específico de gran relevancia estratégica para nuestro país, como es el sector industrial de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), delineando algunas bases para la formulación e implementación de políticas específicas en relación con la Industria 4.0 en este espacio subnacional. Si tenemos en cuenta que la provincia de Buenos Aires representa casi un tercio del PIB de Argentina, 48% del valor agregado industrial y 45% de las empresas industriales del país, además de concentrar el 40% de la población total, avanzar en el entendimiento de este tema es de particular importancia, por el potencial que tiene la provincia de Buenos Aires de generar procesos de transformación social y productiva con impacto a nivel nacional.

Para alcanzar este objetivo general, es preciso plantear algunos objetivos específicos. En primer lugar, es necesario identificar el grado de conocimiento de las tecnologías 4.0 por parte de las firmas industriales de la provincia de Buenos Aires, así como su vinculación con los procesos operativos que éstas desarrollan. En segundo lugar, analizar el grado de conocimiento y vinculación de tales compañías con los programas públicos y con el sistema científico tecnológico, en general, y el bonaerense, en particular. Y especialmente, como sustento para la formulación de programas públicos en esta materia, resulta de interés examinar las barreras existentes para el acceso a las tecnologías de la industria 4.0 en el caso de las empresas industriales ubicadas en el territorio provincial.

A continuación, se propone una sección de desarrollo donde se exponen algunos elementos conceptuales vinculados a la definición y el alcance de la llamada Industria 4.0, los desafíos y barreras que supone la adopción de estas tecnologías y las condiciones de base para el diseño de políticas de promoción orientadas a superar tales desafíos, así como resultados previos en relación al proceso de difusión y adopción de tecnologías de la industria 4.0 en nuestro país, que resultan indispensables para interpretar y contextualizar los resultados obtenidos en este estudio exploratorio. Luego, en la sección metodológica se describe el diseño y la estrategia de investigación, así como las técnicas de recopilación y análisis de información utilizadas. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones relevantes del trabajo.

2 Desarrollo: Industria 4.0. Definición y alcances

El concepto de Industria 4.0 tuvo su origen en Alemania en 2011, en el marco de la definición de un Plan Estratégico de Alta Tecnología para ese país. Los documentos explicitaban la intención gubernamental de apoyar la implantación de la Industria 4.0 para posicionar a Alemania como proveedor líder de tales tecnologías, asumiendo que el mundo estaba enfrentando una nueva instancia o etapa en el proceso de industrialización. De hecho, como se mencionó previamente, algunos autores establecen una identidad entre tales tecnologías con la cuarta revolución industrial (Hwang, 2016; Stăncioiu, 2017; Morrar *et al.*, 2017; Griffiths y Ooi, 2018; Koh, 2019).

Aunque diferentes definiciones han sido ensayadas, buscando describir el fenómeno, puede decirse que la Industria 4.0 involucra procesos de transformación basados en nuevas tecnologías, que tienen el potencial de crear procesos productivos integrados y automatizados, permitiendo que diferentes sistemas interactúen, analizando información en tiempo real, para optimizar la producción, predecir fallas e integrar las cadenas de

suministros. Culot *et al.* (2020), luego de revisar 48 definiciones, concluyen que la integración de procesos, la transparencia de la información en tiempo real, la representación virtual del mundo real y la autonomía, destacan como características centrales del fenómeno. Su implementación permite satisfacer demandas personalizadas y de ciclo corto, generar economías de escala y alcance en forma simultánea y consigue la generación, circulación y control de la información y el conocimiento en cadenas globales de valor, con impactos significativos sobre la productividad (Yoguel *et al.*, 2021).

En cuanto a las tecnologías involucradas bajo el concepto de Industria 4.0, Bai *et al.*, (2020), las clasificó en aquellas de naturaleza física o digital. Las primeras comprenden la fabricación aditiva, la sensorización y los drones. En tanto, las tecnologías digitales incluyen *cloud computing*, *blockchain*, *big data analytics* y simulación. Por su parte, Culot *et al.*, (2020), identifican cuatro grupos tecnológicos asociados a la Industria 4.0: a) Interfaces físico-digitales (sistemas ciber físicos, internet de las cosas, realidad aumentada, virtual y mixta); b) Redes (*cloud computing*, soluciones de inter operatividad y ciberseguridad, *blockchain*); c) Procesamiento de datos (*big data analytics*, inteligencia artificial, *machine learning*, modelización y simulación); y d) Procesos físico-digitales (impresión 3D, robótica avanzada, soluciones de gestión energética y nuevos materiales).

Meindl *et al.*, (2021), por su parte, indican que Internet de las Cosas, *Cloud Computing*, *Big Data* y *Analytics*, incluyendo el uso de herramientas de *Data Mining* e Inteligencia Artificial, constituyen, conjuntamente, las tecnologías de base que convierten a las compañías convencionales en Industrias 4.0. Su función es integrar e interconectar las distintas dimensiones de la empresa, brindando conectividad e inteligencia (Frank *et al.*, 2019) a las tecnologías *front-end*, las cuales se integran a los procesos de cada firma con su entorno (cadenas de abastecimiento y clientes).

2.1 Desafíos y barreras para la adopción de tecnologías de la industria 4.0

El proceso de difusión y adopción de nuevas tecnologías supone un proceso complejo y dependiente de la trayectoria previa (*path dependence*) que a la par de las oportunidades que genera, impone desafíos y barreras para su puesta en marcha.

Como señalan Archibugi y Coco (2005), las capacidades tecnológicas en un territorio, necesarias tanto en la producción de nuevo conocimiento como en su difusión y adopción (Nonaka y Takeuchi, 1996, Nelson, 2004), emanan de un conjunto de elementos heterogéneos, y se encuentran embebidas tanto en equipos y bienes de capital e infraestructura, como en las habilidades humanas y el conocimiento científico y técnico, estando presentes tanto en el componente de conocimiento codificado (manuales, planos, patentes y publicaciones científicas) como en el tácito (emanado del aprendizaje práctico y la experiencia). Requiere conjugar una base de conocimientos explícitos y tácitos previos, con diversas fuentes de experiencia práctica. Este carácter interrelacionado de las tecnologías y de las bases de conocimiento y experiencia que subyacen a su desarrollo, junto con las redes de infraestructura y servicios que las complementan y los múltiples procesos de aprendizaje y des aprendizaje que se requieren, son claves para entender el potencial de éxito de los procesos de difusión y adopción de tecnologías (Pérez 2010; Nelson 2004).

Diversos autores han sistematizado a partir de sus investigaciones los principales desafíos vinculados a la adopción de tecnologías de la Industria 4.0. Bajic *et al.*, (2020),

por ejemplo, identificaron dos tipos de desafíos: a) relativos a la gestión o el *management*; y b) de naturaleza tecnológica. Los primeros tienen un carácter más general, por ejemplo, carencia de recursos humanos o financieros; en tanto, los desafíos tecnológicos son más específicos, por ejemplo, incompatibilidad de dispositivos o desarrollo de algoritmos. Complementariamente, Frank *et al.* (2019), señalaron, en concordancia con otros autores, que el grado de implementación del concepto de Industria 4.0 es dependiente del tamaño de la empresa, destacando, especialmente, que las grandes compañías tienen mayor capacidad de invertir en la innovación de procesos y productos, lo cual requiere grandes inversiones en infraestructura tecnológica.

En lo referente a las barreras que afectan la implementación de este paquete tecnológico, Orzes *et al.* (2018), sintetizaron, a partir de los hallazgos de 19 estudios realizados entre 2012 y 2018, contrastados con una metodología de grupos focales integrados por pequeñas y medianas empresas de diferentes países, seis categorías de barreras: a) económico-financieras; b) culturales; c) de recursos y capacidades; d) legales; e) técnicas; y f) vinculadas al proceso de implementación.

Posteriormente, Horváth y Szabó (2019) analizaron los factores impulsores y las barreras a la innovación que enfrenta la industria 4.0. Entre las fuerzas impulsoras de la Industria 4.0 encontraron: a) competencia creciente; b) mayor capacidad de innovación y productividad; c) expectativas de los clientes; d) esfuerzos para ahorrar energía y mejorar la sostenibilidad; e) factores financieros y de rendimiento; f) apoyo a las actividades de gestión; y g) oportunidad para la innovación del modelo de negocios. Por su parte, coincidieron con Raj *et al.* (2020), en identificar las siguientes barreras que enfrenta la consolidación de la Industria 4.0: a) recursos humanos y organización del trabajo; b) escasez de recursos financieros; c) problemas de estandarización; d) inquietudes sobre ciberseguridad y problemas de propiedad de los datos; e) riesgo de fragilidad; f) integración tecnológica; g) dificultad de coordinación entre unidades organizativas; h) falta de habilidades y actividades de planificación; y i) resistencia organizacional.

De acuerdo a estos autores, estos aspectos afectan de manera diferente a las Pymes y a las firmas multinacionales. En el caso de las Pymes, los factores impulsores más relevantes que alientan la incorporación de las tecnologías 4.0 son los vinculados a la optimización en la intensidad en el uso de los factores productivos, y a la obtención de mejoras de productividad y eficiencia vinculadas a la satisfacción del cliente. Al mismo tiempo, la falta de personal calificado necesario para implementar y operar las nuevas tecnologías, las restricciones de recursos financieros, y las características del gerenciamiento, constituyen las barreras más importantes para este tipo de empresas. En tanto, en las empresas más grandes, entre los factores que impulsan la implementación de estas tecnologías se destacan las expectativas de la dirección y la presión de la competencia. Por su parte, resultan críticas como barreras, la cultura y las características organizacionales, y los aspectos vinculados a la integración tecnológica, principalmente a nivel de la cadena de abastecimiento.

Haciendo referencia específicamente al contexto argentino, Franco *et al.* (2022), plantean que los problemas que enfrenta una mayor adopción de las tecnologías 4.0 se pueden dividir en problemas de origen macroeconómico y problemas sectoriales. Dentro del primer conjunto se encuadran contextos económicos desfavorables para la adopción tecnológica en los procesos productivos, debido a inestabilidad macroeconómica, costos laborales y un ambiente financiero que no habilita recursos para la innovación en especial en empresas de menor tamaño. Dentro del segundo grupo de problemas, se encuentran

problemas de escala en determinados sectores, que dificulta la realización de inversiones significativas, por ejemplo, asociadas a robótica o a inteligencia artificial, que requieren altos volúmenes de datos e información (Motta *et al.*, 2019). También señalan una extendida falta de conocimiento sobre las tecnologías disponibles, así como sobre sus ventajas y debilidades.

2.2 Políticas públicas e industria 4.0

La promoción de la industria 4.0, se inscribe en el marco más amplio del grupo de políticas formuladas con la intención de “*lograr tasas de incremento de la producción de forma sostenida, incluyendo cambios estructurales continuos en el tejido productivo, y sostenible, respetando el medio ambiente y los equilibrios básicos*” (Cuadrado Roura *et al.*, 2010) y generalmente requiere una imbricada coordinación de políticas de promoción industrial con políticas tecnológicas. Las mismas revisten un carácter microeconómico, y, más allá de sus posibles efectos coyunturales, su horizonte de referencia siempre debiera ser el mediano o largo plazo, procurando incidir sobre las decisiones de los agentes económicos, relativas a la asignación de recursos productivos. Las políticas de promoción industrial y las políticas tecnológicas pueden trabajar en conjunto con el fin de promover la innovación, un concepto que, de acuerdo al Manual de Oslo (2005), se define como la introducción de un producto (bien o servicio) nuevo o significativamente mejorado, un proceso, un método de comercialización o un método organizativo en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores.

En el entorno de la industria 4.0, se pueden enumerar ciertos documentos que resumen las políticas aplicadas por diferentes países para su promoción, destacándose, entre otros: a) Industrie 4.0 en Alemania; b) Advanced Manufacturing Partnership en Estados Unidos; c) Future of Manufacturing en Reino Unido; d) Made in China 2025 en China; e) Smart Industry en Países Bajos; f) Industria Conectada 4.0 en España, y g) La Nouvelle France Industrielle en Francia. Tales planes contienen claras definiciones en torno a los objetivos, las acciones y el horizonte de planeamiento, relacionados con la Industria 4.0.

Liao *et al.* (2017), han resumido las políticas diseñadas por 17 países y una región económica en esta materia, indicando que en general, el propósito de estos programas ha oscilado entre tres tópicos: a) la creación de empleo altamente capacitado y calificado; b) el incremento de la productividad y la eficiencia; y c) la modernización de las industrias. Las principales acciones incluidas en los programas se han orientado a: a) promover la investigación y la innovación; b) asistir en la organización del trabajo y en la capacitación de la fuerza laboral, y c) apoyar la transformación digital de las Pymes y la mejora de la infraestructura. En relación con el horizonte de planeamiento, los planes oscilan entre un mínimo de 4 años (Italia) y un máximo de 38 años (Reino Unido), con una mediana de 7,5 años.

Por su parte, Teixeira y Tavares-Lehmann (2022), describen, refiriéndose a los países de la Unión Europea, los énfasis puestos a nivel público en la implementación de la Industria 4.0. Así, el trabajo enumera las siguientes finalidades: a) desplegar las TIC para crear la infraestructura subyacente a la digitalización de la economía (10 países); b) investigación, desarrollo e innovación relacionadas con productos y servicios basados en la Industria 4.0 (7 países); c) implementación de las tecnologías emergentes y facilitadoras relacionadas con la Industria 4.0 (9 países); d) digitalización de las pequeñas

y medianas empresas (12 países); e) educación y formación profesional (7 países); y f) regulación y estándares para las tecnologías asociadas a la Industria 4.0 (4 países).

2.3 Adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en Argentina

Aunque la información secundaria disponible sobre adopción de tecnologías de la industria 4.0 en Argentina es aún escasa, algunos trabajos pioneros realizados en esta temática permiten hacer una caracterización estilizada sobre el alcance de la adopción de estas tecnologías por parte del sector manufacturero argentino, en el que se inserta la industria bonaerense.

La mayor parte de estos informes coinciden en señalar que la penetración del modelo de industria 4.0 es aún limitada en Argentina y su adopción entre las empresas es muy heterogénea y parcial (Albrieu *et al.*, 2019; Franco *et al.*, 2022). De acuerdo a Albrieu *et al.* (2019), casi la mitad de las firmas encuestadas se caracteriza por tener tecnologías de primera y segunda generación y por no estar llevando a cabo acciones para avanzar hacia el modelo de industria 4.0; 45% de las firmas poseen tecnologías intermedias y se muestran dinámicas en términos de desarrollar acciones que las acerquen al modelo de industria 4.0 y sólo un 6% de las firmas industriales posee tecnologías de última generación en alguna área funcional, y están tomando acciones para acercarse al modelo de industria 4.0. También destaca que, aunque las empresas encuestadas confían que en la próxima década podrán cerrar la brecha que las separa de la frontera tecnológica, lo cierto es que, en promedio, se encuentran lejos de alcanzar este objetivo y muchas no están tomando ni siquiera acciones concretas para alcanzarlo. Estos resultados son coincidentes con los publicados por la consultora *Boston Consulting Group* en 2018, que indica que, aunque existe interés por parte de los empresarios argentinos por adoptar tecnologías de la industria 4.0, solo 30% de las empresas encuestadas está dispuesta a invertir en ellas, evidenciando un *gap* entre la teoría y la práctica, entre la intención de acelerar los procesos de digitalización internos y la falta de una estrategia clara para hacerlo (Nieponice *et al.*, 2018)

En términos específicos para la provincia de Buenos Aires, Bartis (2020) señala que, aunque la mayoría de las empresas aceptan la importancia de las tecnologías digitales, son muy pocas las que reconocen de forma clara el potencial que supone la adopción integral de las diversas tecnologías 4.0 y los riesgos asociados a no hacerlo. En especial cuando se indaga acerca de la gestión y el control de los procesos productivos, casi el 50% de las empresas considera que la potencialidad de las soluciones digitales para mejorar el área de producción de la organización es nula o escasa. Por su parte, Motta *et al.* (2019), a partir de estudios de casos de firmas localizadas en Córdoba y Rafaela, concluyen que el grado de adopción de las tecnologías de la industria 4.0 en la industria es parcial, encontrando barreras para la adopción integral, que en muchos casos no parece ser rentable para ciertas escalas de empresas industriales argentinas.

Una segunda característica que asumen los procesos de adopción de tecnologías de la industria 4.0 en nuestro país, es que quienes lideran el proceso son en general empresas grandes, que por razones de escala tienen mayor capacidad para invertir en nuevas tecnologías, en I+D, en capital fijo y en la contratación de empresas especializadas en transformación digital. Así, según Albrieu *et al.* (2019), 85% de las empresas más rezagadas tecnológicamente son micro y pequeñas empresas, mientras que apenas un tercio de las más avanzadas tecnológicamente son pequeñas. Las Pymes que avanzan en

la incorporación de tecnologías de la industria 4.0 suelen estar vinculadas a sectores dinámicos y/o exportadores (petróleo, gas, automotriz, etc.).

Finalmente, un tercer factor que permite caracterizar la situación de la industria 4.0 en Argentina, está vinculado a las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0 con mayor grado de avance en términos de implementación en la industria local. En este sentido, un informe publicado por la consultora *Boston Consulting Group* en 2018, señala que las tecnologías relativamente estándar y de bajo costo, son las que demuestran mayor grado de avance en términos de implementación en la industria nacional, mientras tecnologías como realidad aumentada, automatización y control de la producción o diseño de la fábrica digital cuentan con menor grado de avance en cuanto a implementación (Nieponice *et al.*, 2018). Por su parte Motta *et al.* (2019), encontraron que, entre las empresas analizadas, las tecnologías de la industria 4.0 que más penetración habían alcanzado eran internet de las cosas (IoT) y uso de sensores sobre la maquinaria, que permiten generar datos de producción en tiempo real, realizar control y monitoreo de procesos productivos, entre otros. En este aspecto, Bartis (2020) señala que, en provincia de Buenos Aires, entre 2017 y 2019, menos del 25% de las pymes industriales de la provincia utilizaban precisamente tecnologías como Internet de las cosas o sensores para automatización.

3 Metodología

El trabajo sigue un enfoque de investigación exploratorio. El objetivo principal de la investigación exploratoria es generar nuevas ideas y conocimientos, y desarrollar una comprensión preliminar del tema de investigación. A menudo se utiliza en situaciones en las que, como en este caso, se sabe poco sobre un fenómeno en particular y se espera poder avanzar en identificar nuevas áreas de investigación, refinar las preguntas de investigación y guiar el desarrollo de estudios de investigación más enfocados sobre el tema en el futuro (Swedberg, 2020). Es importante mencionar en este punto que se trata de una investigación aún en curso, siendo los resultados expuestos en este trabajo, resultados parciales de la investigación, que serán profundizados en los próximos años.

Para alcanzar los objetivos planteados, se utilizó una estrategia de investigación mixta, que permite combinar las ventajas del análisis cualitativo y cuantitativo de datos en un mismo estudio (Johnson *et al.*, 2007). Se utilizaron fuentes de información, tanto secundarias, como primarias. La recopilación de datos primarios, se desarrolló en dos fases: a) Fase I: entrevistas en profundidad a informantes claves y b) Fase II: cuestionario ad-hoc.

En la primera fase se realizaron entrevistas en profundidad a un conjunto de actores claves vinculados al desarrollo y/o promoción de la industria 4.0, para contar con una primera aproximación acerca del grado de difusión de estas tecnologías en el entramado industrial bonaerense. Las entrevistas fueron realizadas con el propósito de obtener una comprensión cualitativa respecto de la dinámica que adopta el proceso de incorporación de tecnologías en empresas industriales de la provincia de Buenos Aires.

A continuación, se identifican las entrevistas en profundidad realizadas.

Tabla 1: Entrevistas a informantes claves realizadas

Cargo/rol	Institución
Director Operativo	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)
Director de Planeamiento y Comercialización	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)
Directora Técnica Regional Buenos Aires	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)
Coordinador Provincia Buenos Aires - Desarrollo Federal	Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA).
Coordinador del Área de Ingeniería Inversa y Metrología	Centro de Servicios Industriales. Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA).
Investigador CONICET	Centro de Estudios Económicos del Desarrollo (UNSAM)
Investigador CONICET	Instituto Superior de Ingeniería del Software (ISISTAN) CCT CONICET TANDIL
Investigador CONICET	Instituto de Tecnología Informática Avanzada (INTIA) CONICET/UNICEN

Fuente: Elaboración propia.

Una segunda fase, estuvo orientada fundamentalmente a identificar la situación actual en términos de difusión y adopción de tecnologías de la industria 4.0 en el sector industrial de la PBA. Se decidió conformar una muestra por conveniencia. En ella se combinan socios de la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA) con quienes se desarrolló una colaboración ad hoc para este proyecto, y empresas que fueron referenciadas o que integran la base de datos contenida en el Portal del Sistema de Información de Ciencia y Tecnología Argentino (SICYTAR) que recibieron financiamiento para fines de modernización tecnológica. De esta manera, se conformó una base de datos de 155 firmas. Con el objetivo de recopilar el conocimiento práctico de las empresas consultadas sobre las tecnologías 4.0, se confeccionó un formulario de encuesta administrado digitalmente. Cada firma contactada recibió un vínculo. Previamente a la diseminación general del formulario, se condujo un estudio piloto para validar la efectividad de la herramienta de recolección de datos. Un total de 55 empresas industriales bonaerenses respondieron el cuestionario, equivalentes al 35,4% de los envíos. Tal tasa de respuesta puede ser considerada buena, para encuestas digitales, de acuerdo con el planteamiento de Easterby-Smith *et al.* (2015), que ubican dicho porcentaje en torno al 20%.

En relación a las características de las empresas que respondieron el cuestionario, 78% son pequeñas y medianas empresas con menos de 50 empleados, ubicadas mayoritariamente en el interior de la provincia de Buenos Aires (82%).

3.1 Contexto de Estudio: Características destacadas del sector industrial bonaerense

Nuestro sitio de investigación es la provincia de Buenos Aires, conformada por 135 municipios distribuidos en una superficie total de 307.571 km². En dicho espacio operan, según datos del Ministerio de la Producción argentino, más de 220.000 establecimientos, correspondiendo al sector industrial alrededor del 13% del total.

Una característica central del sector industrial bonaerense, que también se reproduce a nivel nacional, es la elevada heterogeneidad, tanto en términos de escala productiva como de capacidades tecnológicas de las firmas, que se observa tanto a nivel inter sectorial como al interior de cada sector (intra sectorial), asociada a una gran cantidad de firmas que realiza nulos o escasos esfuerzos en I+D y una minoría que se sitúa en la frontera internacional (Bartis, 2020; Keogan *et al.*, 2020). Así, aunque un pequeño número de empresas con altos niveles de productividad y buen perfil tecnológico, se insertan competitivamente en cadenas mundiales de valor, el desafío es que la mayor parte de las empresas, en general Pymes, poseen baja productividad y capacidad de absorción del conocimiento generado en el sistema científico-tecnológico y una dinámica innovadora que depende fuertemente de proveedores extranjeros de bienes y equipos (Anlló y Peirano, 2005; Llisterri y Pietrobelli, 2011).

En la provincia de Buenos Aires, la participación privada en la financiación de actividades de I+D es de 34%¹. Este indicador, aun cuando se ubica por encima del promedio nacional de financiación privada de I+D, continúa siendo bajo, comparado con las ratios internacionales (aún los de los países de la región). En especial, la producción industrial, demuestra debilidades no sólo en la inversión en I+D que realiza, sino también en diseño e ingeniería de procesos y productos. La mayor parte de los esfuerzos de innovación de las firmas se vinculan a la compra de tecnologías incorporadas en maquinaria y equipos, con niveles bajos de innovación de procesos y productos (Bernat, 2020; Anlló y Peirano, 2005). Esto por supuesto tiene su correlato con los desiguales grados de penetración de las tecnologías asociadas a la industria 4.0 en la industria bonaerense.

4 Resultados

Tal como se anticipó, y con el objetivo de enriquecer la información secundaria disponible, llevamos a cabo un estudio en el que analizamos las respuestas emitidas por representantes de 55 empresas industriales bonaerenses. El propósito de este estudio fue obtener una visión exploratoria de la situación actual del sector industrial en esta provincia en relación con la difusión y la adopción de tecnologías específicas asociadas con la Industria 4.0. Es importante destacar que, debido a la metodología empleada, no podemos llegar a conclusiones definitivas sobre este tópico. Sin embargo, a continuación, presentamos algunos resultados clave que obtuvimos a partir del relevamiento.

4.1 Nivel de acercamiento al concepto de Industria 4.0

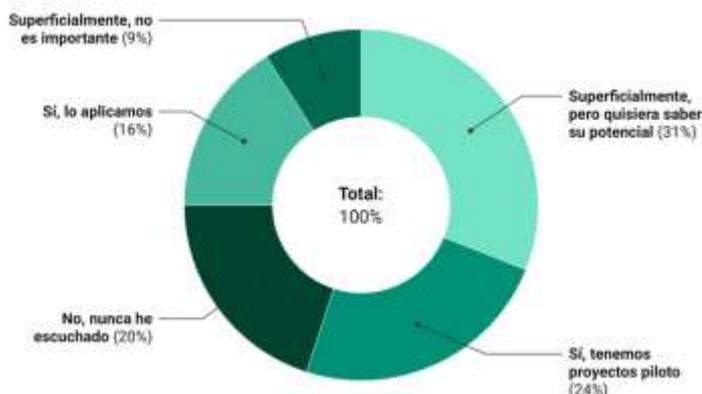
En un primer paso, investigamos el nivel de acercamiento que poseen las empresas industriales consultadas en relación al concepto de Industria 4.0. Los resultados obtenidos indican que las empresas industriales en la Provincia de Buenos Aires tienen un conocimiento limitado en relación con la Industria 4.0.

Así, como se evidencia en el Gráfico 1, 60% de las empresas afirma tener un conocimiento nulo o superficial del concepto de Industria 4.0. Dentro de este grupo, un

¹ Datos del documento “Síntesis de Indicadores de Ciencia y Tecnología para la PBA (2019)”. Programa ORBITA. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en https://www.gba.gov.ar/ciencia/orbita_observatorio_regional_bonaerense_de_innovacion_tecnologica

tercio de las empresas (20% del total) desconoce completamente el concepto o nunca ha tenido contacto con él. En tanto, entre aquellos que tienen un conocimiento superficial, el grupo mayoritario (31% del total) muestra interés en comprender el potencial que estas tecnologías pueden tener para su empresa. Ambos grupos constituyen sujetos relevantes desde el punto de vista del diseño de políticas públicas de promoción. Al mismo tiempo, hay un grupo (9% del total) que considera que tales tecnologías son irrelevantes para su organización.

Gráfico 1 - Grado de Conocimiento sobre el concepto de Industria 4.0



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, dentro del 36% de las empresas consultadas que se manifestaron familiarizadas con el concepto de Industria 4.0, el 56% (20% del total) está desarrollando algún tipo de proyecto piloto, mientras que el 44% restante (16% del total) se encuentra implementando, al menos, alguna de las tecnologías de la Industria 4.0

4.2 Estrategia de transformación digital

Se suele considerar que el desarrollo de una estrategia de transformación digital resulta fundamental para sostener la competitividad de las empresas en el mundo actual. Dentro de este marco, la incorporación de ciertas tecnologías de la Industria 4.0 pueden dar impulso a este proceso.

Del total de empresas, 21,7% no ha avanzado en un plan de transformación digital como parte de su estrategia de negocios, aunque piensa hacerlo en los próximos años, y 78,3% de las empresas sí lo ha hecho. Como se muestra en el Gráfico 2, la mitad de las empresas que han definido una estrategia digital, no han comenzado a implementarla y la otra mitad si han avanzado en su implementación.

Gráfico 2 - Estrategia de Transformación Digital

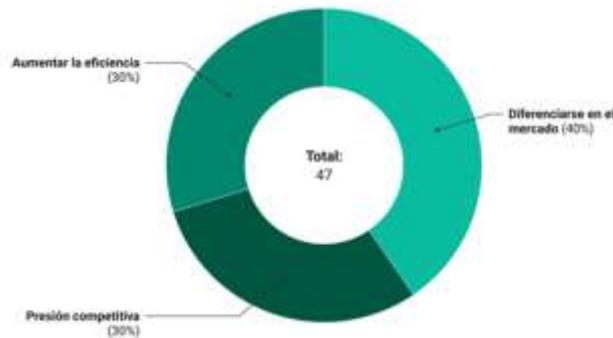


Fuente: Elaboración propia.

4.3 Motivación para la incorporación de tecnologías 4.0

El 85% de las empresas entrevistadas identificó una motivación clara detrás de su decisión de incorporar tecnologías de la industria 4.0. Las motivaciones más recurrentemente mencionadas incluyen: 1º) la diferenciación como estrategia competitiva (40%), 2º) la presión competitiva en el mercado (30%) y 3º) la necesidad de mejorar los niveles de eficiencia (30%).

Gráfico 3 - Motivaciones para la incorporación de las tecnologías 4.0



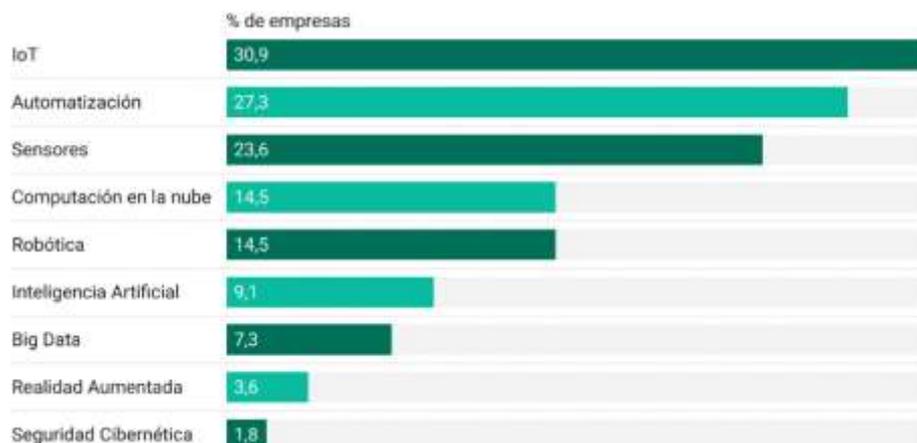
Fuente: Elaboración propia.

Se destaca que las principales motivaciones conjugan aspectos estratégicos (diferenciación) con aspectos operativos (mayor eficiencia productiva). También se destaca que ninguna de las empresas mencionó a los proveedores como impulsores de la adopción de estas tecnologías. Esto podría estar vinculado al perfil de estas pequeñas y medianas empresas en cuanto a su bajo nivel de inserción en el marco de Cadenas Globales de Valor.

4.4 Percepción de la importancia relativa y del potencial de las Tecnologías 4.0

Del relevamiento realizado se desprende una diferente apreciación de las tecnologías por parte de las empresas bonaerenses, según se puede observar en el Gráfico 4. Las tecnologías más referidas son Internet de las Cosas, Automatización y Sensorización, las cuales fueron mencionadas por más del 20% de los integrantes de la muestra.

Gráfico 4 - Percepción de la importancia relativa de las tecnologías 4.0

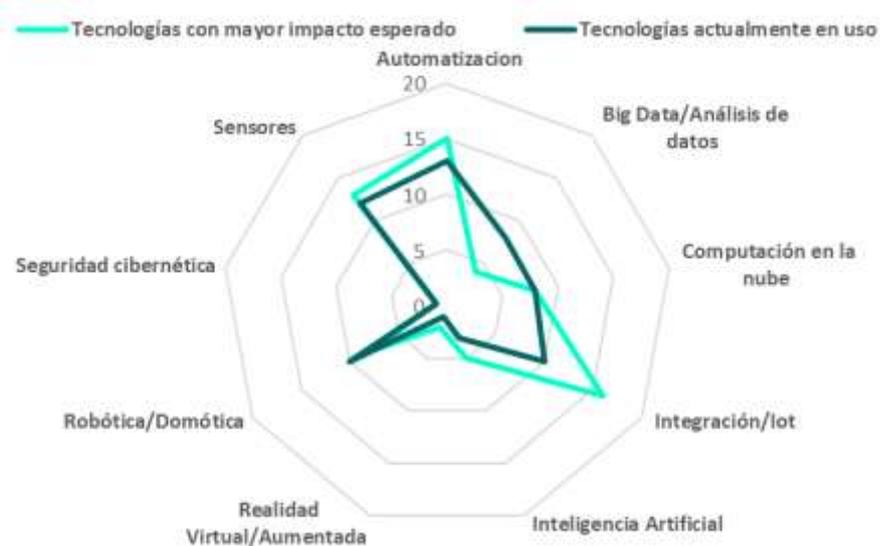


Fuente: Elaboración propia.

En el proceso de calificación de la relevancia de las diversas tecnologías 4.0, la mayoría de los consultados identificó paquetes tecnológicos cuya implementación, desde su perspectiva, no debe realizarse de modo independiente.

Complementariamente, indagamos sobre las tecnologías que potencialmente, según las empresas, tendrían mayor impacto positivo sobre su competitividad a mediano y largo plazo. Los resultados, se presentan en el Gráfico 5, donde se exponen en forma comparativa con aquellas tecnologías 4.0 que ya incorporaron en su operación.

Gráfico 5 - Tecnologías de la Industria 4.0 con mayor impacto esperado y en uso



Fuente: Elaboración propia.

Entre las tecnologías indicadas destacan tanto por su potencial de impacto en el sector como por su actual nivel de adopción los sistemas de automatización, Internet de las cosas (IoT), el uso de sensores y la robotización. En contraste, se observa una menor valoración de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), el big data, la computación en la nube y la realidad virtual/aumentada por parte de las empresas.

4.5 Incorporación de tecnologías específicas de la industria 4.0 en procesos claves

Nuestra investigación muestra como los consultados emplean estas tecnologías específicas en la gestión integral de la operación de la firma como así también en sus sectores funcionales, con especial énfasis en la producción y el desarrollo de productos, y en la relación con sus clientes y proveedores.

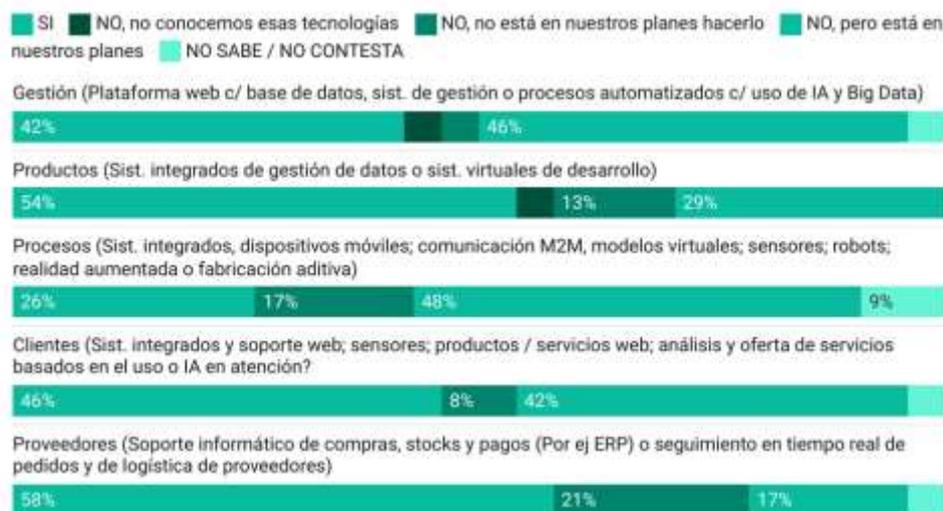
En cuanto a la gestión integral del negocio, preguntamos si actualmente utilizan alguna de las siguientes herramientas: a) Plataforma web con bases de datos (por ejemplo, ERPs avanzados, data warehouse y business intelligence); b) Sistemas de gestión empresarial en plataforma web; o c) procesos de negocio automatizados con apoyo de IA y Big Data.

Los resultados muestran que el 42% de las empresas consultadas emplea alguna de estas tecnologías en la gestión de su negocio. En tanto, el 46% de las firmas planea incorporarlas. En menor proporción (4% en cada caso) las respuestas indicaban que las compañías no estaban familiarizadas con estas tecnologías, o no las utilizan y no tienen planes de incorporarlas, o no respondió a la pregunta.

En lo que respecta al proceso de desarrollo de nuevos productos, investigamos si utilizan alguna de las siguientes tecnologías: a) sistemas integrados de gestión de datos del producto (por ejemplo, PDM - Product Data Management, PLM - Product Lifecycle Management, Prototipado rápido), o b) sistemas virtuales de desarrollo (por ejemplo, Realidad Virtual, Simulación).

Encontramos que el 54% de las empresas encuestadas emplea alguna de estas tecnologías para el desarrollo de nuevos productos/servicios. Del 46% restante que no utiliza ninguna de estas tecnologías, el 29% planea incorporarlas, el 4% no está familiarizado con estas tecnologías, y el 13% no las utiliza y no tiene planes de incorporarlas.

Gráfico 6 – Implementación de tecnologías 4.0 en procesos empresariales



Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a la gestión de los procesos productivos, preguntamos si utilizan alguna de las siguientes tecnologías: a) sistemas integrados de ejecución de procesos (por ejemplo, MES - Manufacturing Execution System; AGV - vehículos de guiado automático; código QR); b) dispositivos móviles en el control de producción; comunicación M2M (de máquina a máquina); c) modelos virtuales para los procesos (gemelos digitales); d) sensores con recopilación de datos y ajustes en tiempo real; o e) Robots colaborativos; realidad aumentada o fabricación aditiva.

En este caso, solo el 26% de las empresas mencionó que utiliza alguna de estas tecnologías en la gestión de sus procesos productivos. Del 74% restante que no utiliza estas tecnologías, el 48% planea incorporarlas en el futuro, el 17% no tiene planes de hacerlo, y el 9% no respondió a la pregunta.

Por su parte, en relación con la gestión de la relación con los clientes, preguntamos si utilizan alguna de las siguientes tecnologías: a) sistemas integrados y soporte basado en Internet (por ejemplo, CRM; soporte para las ventas con dispositivos móviles; integración con redes sociales; data analytics); b) sensores para la recolección de datos de productos/servicios; c) Productos/servicios conectados en Internet; o d) análisis y oferta de servicios basados en el uso de IA en la atención al cliente.

En este caso, encontramos que el 46% de las empresas utiliza alguna de estas tecnologías en la gestión de la relación con sus clientes. Del 64% restante que no utiliza

estas tecnologías, el 42% planea incorporarlas en el futuro próximo, el 8% no planea incorporar estas tecnologías, y el 4% no respondió a la pregunta.

Finalmente, en la gestión de la relación con proveedores, preguntamos si recurren a alguna de las siguientes tecnologías: a) soporte informático para los procesos de compra, stock y pagos (por ejemplo, ERP); o b) seguimiento en tiempo real de pedidos y de la logística de proveedores.

Las respuestas indican que el 58% utiliza estas tecnologías. Entre quienes no las utilizan (42%), el 17% planea incorporarlas en el futuro y el 21% no planea hacerlo. El 4% no respondió a la pregunta.

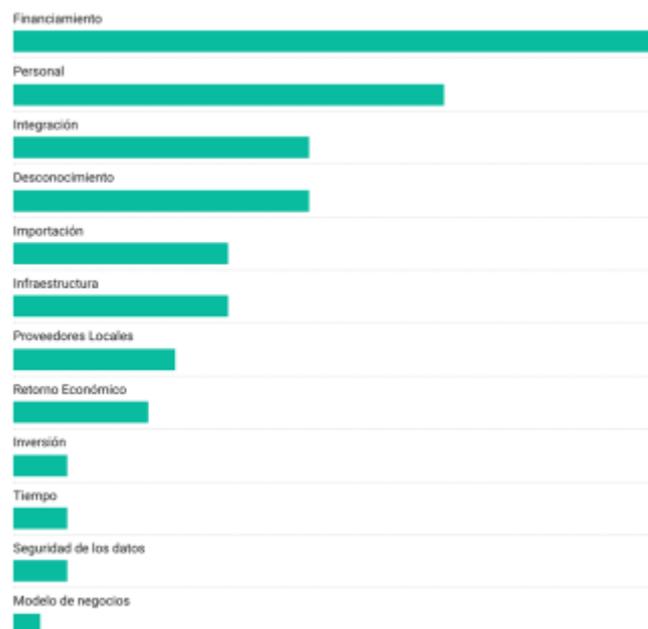
4.6 Desafíos en la adopción de tecnologías específicas de la industria 4.0

En trabajos previos se identificaron diversos desafíos que suponen los procesos de adopción de las tecnologías 4.0 en el contexto argentino y latinoamericano. Entre ellos, se incluyen la ausencia de personal calificado o, más precisamente, los altos costos del personal calificado necesario, la incertidumbre económica, la resistencia al cambio y a la innovación, la oferta limitada de proveedores locales de las nuevas tecnologías y los elevados precios de algunas tecnologías (Motta *et al.*, 2019; Franco *et al.*, 2022)

En este relevamiento consultamos acerca de cuáles son los principales desafíos, restricciones y obstáculos que encuentran a la hora de proyectar la transformación de los propios procesos empresariales hacia un modelo de Industria 4.0

Los resultados, que se muestran en el Gráfico 7, indican que para estas empresas los desafíos y barreras más relevantes son: (i) la falta de financiamiento para la adquisición de tecnologías, (ii) la carencia de personal calificado, (iii) las dificultades para integrar las nuevas tecnologías con la infraestructura y los procesos actuales, y (iv) el desconocimiento acerca de las tecnologías a incorporar.

Gráfico 7 - Desafíos y barreras para la incorporación de tecnologías 4.0

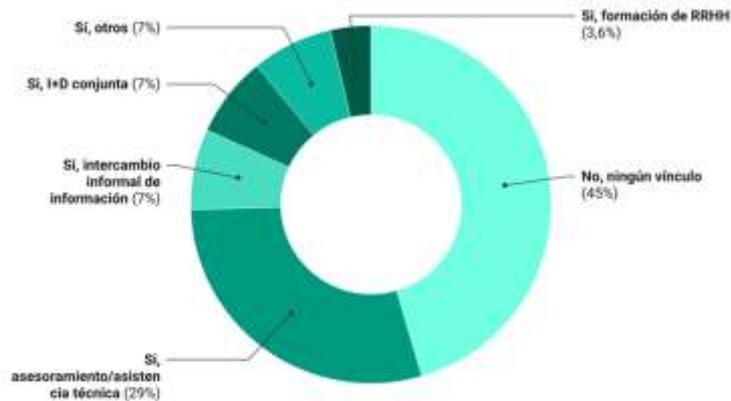


Fuente: Elaboración propia.

4.7 Vinculación de las empresas con el Sistema de Ciencia y Tecnología

Las empresas entrevistadas se pueden dividir en tres grandes grupos. Por un lado, encontramos que el 45% de las firmas carece de contacto con el Sistema Científico y Tecnológico, tanto en su vertiente provincial como nacional. Un segundo grupo está integrado por las compañías que se vinculan con el SCyT para recibir asesoramiento o asistencia técnica (29%). Por último, se identifica un grupo vinculado (26%) pero con necesidades heterogéneas (capacitación, investigación, intercambio informativo, etc.)

Gráfico 8 - Vinculación con el Sistema de Ciencia y Tecnología



Fuente: Elaboración propia.

4.8 Taxonomía de empresas y políticas públicas

El trabajo de campo ha permitido identificar ciertas variables que facilitan la caracterización de distintos grupos de empresas en función de su vinculación con las tecnologías 4.0. Tales variables son: a) conocimiento de las tecnologías 4.0; b) estrategia implementada en la materia; c) clúster de tecnologías implementadas; d) conocimiento de programas públicos específicos; y e) aplicación a programas públicos relativos a estas tecnologías. En la Tabla 2 se presenta la combinación de tales variables que permiten construir un conjunto de 13 posibles tipos de empresas en vinculación con las tecnologías 4.0.

De su aplicación al relevamiento realizado concluimos que las empresas encuestadas se ubican en 10 de los 13 posibles tipos enumerados. De este conjunto 3 grupos reúnen aproximadamente el 78% de los casos.

El 25,6% de este conjunto (20% del total de empresas) directamente no tiene conocimiento de las tecnologías 4.0.

En tanto, el agrupamiento mayoritario – 36,4% del total – solo tiene conocimiento de estas, pero carece de estrategia de implementación e ignora si existen programas públicos específicos en esta materia.

Por su parte, el 21,8% de las compañías tiene una estrategia y ha implementado tales tecnologías, pero desconoce la existencia de programas públicos específicos.

Al mismo tiempo, estos tres grupos presentan una vinculación parcial con el SCyT aunque bajo diferentes modalidades. Este aspecto constituye un dato relevante, pues,

parte de las alternativas de política pública en materia de Industria 4.0 podrían incluir como un agente al conjunto de institutos y centros que integran tal sistema.

Tabla 2 - Taxonomía de empresas, políticas públicas y vinculación con el SCyT

Respecto de las tecnologías 4.0, la empresa...

¿Conoce el concepto?	¿Implementó una estrategia de incorporación?	¿Ha incorporado alguna tecnología?	¿Conoce programas públicos específicos?	¿Ha aplicado a algún programa específico?	Grupos taxonómicos de empresas	Participación relativa	¿Tiene un vínculo con el SCT?
✗	✗	✗	✗	✗	[1]	20,0	27,3
✓	✗	✗	✗	✗	[2]	36,4	45,0
✓	✗	✗	✓	✗	[3]	1,8	100,0
✓	✗	✗	✓	✓	[4]	0,0	0,0
✓	✗	✓	✗	✗	[5]	1,8	0,0
✓	✗	✓	✓	✗	[6]	3,6	100,0
✓	✗	✓	✓	✓	[7]	3,6	100,0
✓	✓	✗	✗	✗	[8]	1,8	100,0
✓	✓	✗	✓	✗	[9]	0,0	0,0
✓	✓	✗	✓	✓	[10]	0,0	0,0
✓	✓	✓	✗	✗	[11]	21,8	58,3
✓	✓	✓	✓	✗	[12]	3,6	100,0
✓	✓	✓	✓	✓	[13]	5,5	100,0

5 Discusión y análisis

En este trabajo se analiza, a partir de un estudio exploratorio, el estado de situación de un conjunto de tecnologías estratégicas de la industria 4.0 en el ámbito de la provincia de Buenos Aires. Una característica central del sector industrial bonaerense es la elevada heterogeneidad, inter e intra sectorial, en términos de escala productiva y de capacidades tecnológicas de las firmas. Esto tiene su correlato con los desiguales grados de difusión y adopción de las tecnologías 4.0 en la industria bonaerense.

Los resultados muestran que 60% de las empresas encuestadas no conoce o conoce sólo superficialmente el concepto de Industria 4.0 y entre quienes lo conocen, sólo 38% tiene una estrategia digital en marcha. La principal acción desarrollada por las empresas es la inversión en capital fijo. Los bajos niveles de adopción parecen estar asociados, fundamentalmente, a la carencia de recursos complementarios (humanos y financieros) necesarios para su puesta en marcha y operación, al desconocimiento de las firmas sobre los alcances de estas tecnologías y la incertidumbre sobre su real impacto económico, así como dificultades para la integración tecnológica con los procesos y tecnologías preexistentes.

El acceso a financiamiento a largo plazo a tasas razonables, resulta indispensable para planificar el camino hacia la transformación digital en el marco de una industria madura, con una alta proporción de pequeñas y medianas empresas que se encuentran muy lejos de la frontera tecnológica y que tienen que realizar grandes inversiones en máquinas y

equipos, pero también en asistencia técnica y consultoría para redefinir procesos, productos e incluso modelos de negocio, que en muchos casos, aun responden al modelo de Industria 3.0 o 2.0.

La dificultad para acceder a recursos humanos con el expertise necesario en áreas específicas, especialmente en el campo de la informática y la consultoría tecnológica, donde la demanda de talento supera ampliamente a la oferta, y donde las empresas locales compiten con las extranjeras en la captación de talento, limita el desarrollo de oportunidades vinculadas a la reconversión tecnológica de las Pymes.

También se evidencia una clara dificultad para integrar las nuevas tecnologías con la infraestructura y los procesos actuales de las empresas, asociada a una percepción negativa por parte de las empresas en relación al costo y el tiempo que supondría migrar de los sistemas existentes en la empresa a los nuevos. En este sentido es importante tener presente que muchas empresas todavía no disponen de una buena gestión a nivel de procesos, ni de métricas de fabricación fiables y en tiempo real, ni mucho menos de funciones de trazabilidad y que en muchos casos aún tienen un largo camino que recorrer en términos de profesionalización de la gestión del negocio en sentido amplio. Todo esto dificulta el camino hacia la transformación digital, porque las empresas se encuentran en estadios de desarrollo en términos de su gestión interna, que están muy alejados de las necesidades que supone la incorporación de tecnologías de la industria 4.0. Por otro lado, un desafío importante para avanzar en la adopción de tecnologías de la industria 4.0, es el desconocimiento de muchas empresas, en especial las pequeñas y medianas, respecto del tipo de tecnologías a incorporar y sus beneficios. En este sentido sabemos que la compra de tecnología no asegura su apropiación por parte de las empresas. Por el contrario, es necesario que las firmas realicen grandes esfuerzos de adaptación y aprendizaje organizacional y ajustes a nivel de gestión y de procesos, para alcanzar un uso eficiente de los equipos incorporados.

La conjunción de estas dos barreras (desconocimiento y dificultad para integrar las nuevas tecnologías), destaca la importancia de la figura de consultores integradores, que se ocupan específicamente de esta labor de adaptación de equipos a las condiciones de operación reales de las empresas, con capacidad de conectar a las pequeñas y medianas empresas con la tecnología necesaria y proponer metodologías que permitan la integración de los sistemas existentes con las nuevas tecnologías. Sin embargo, el costo de estos servicios, que muchas veces demanda la conformación de equipos multidisciplinarios, suele resultar muy costoso para estas empresas y por lo tanto constituye una barrera para avanzar en los procesos de adopción de tecnologías de la industria 4.0 en el ámbito de las Pymes Bonaerenses.

Finalmente, también encontramos que la articulación de las empresas con el sistema científico tecnológico es muy baja y se limita a actividades de corto plazo y de bajo contenido tecnológico, siendo un aspecto adicional a tener en cuenta a la hora de entender los desafíos que supone la adopción de tecnologías de la industria 4.0 en el territorio bonaerense.

Concluimos que respecto a la adopción de las tecnologías 4.0 a nivel industrial en el territorio bonaerense, los resultados exploratorios obtenidos, son consistentes con los de estudios previos en Argentina. En términos de trayectoria tecnológica, las tecnologías asociadas a la industria 4.0 en la provincia de Buenos Aires, todavía parecen ubicarse en la fase inicial de la curva de adopción, siendo posible identificar casos destacados de

empresas, en general Pymes dinámicas con perfil exportador, que comienzan a adoptar tecnologías de la industria 4.0, pero sin que exista aún un proceso masivo o generalizado de adopción de estas tecnologías en la industria. Esta circunstancia afecta negativamente sobre el nivel de productividad, a corto plazo, y sobre la competitividad, a mediano plazo, de las firmas. Estos aspectos por sí justificarían el desarrollo de programas públicos en la materia.

En este trabajo desarrollamos una propuesta de taxonomía que permite establecer una gradación de empresas que fluctúa, desde aquellas que desconocen las tecnologías, hasta aquellas que cuentan con una estrategia para su incorporación y que han participado en programas públicos vinculados con esta materia. En primer término, se puede trazar una línea de separación entre aquellos grupos que cuentan con una estrategia de implementación de tecnologías 4.0 (grupos 8 a 13) del resto. En la muestra considerada, la proporción de quienes cuentan con una estrategia alcanza al 16,4% del total de firmas. Es posible diferenciar aquellos segmentos que han incorporado las tecnologías 4.0 (grupos 11 a 13) de los que no (grupos 8 a 10). En segundo lugar, el grupo mayoritario es aquel que no cuenta con una estrategia específica (grupos 1 a 7). Sin embargo, estos grupos no resultan homogéneos, pues, conviven los que carecen de conocimiento sobre las tecnologías (grupo 1), con aquellos que, conociéndolas, no las han incorporado (grupos 2 a 4) y los que las han adoptado, pero por fuera de una estrategia determinada (grupos 5 a 7). Tal panorama se completa con el grado de conocimiento de la existencia de programas públicos específicos y la eventual aplicación a los mismos.

Tomando en cuenta la hipótesis de políticas a nivel sub nacional y la taxonomía de empresas bonaerenses indicada precedentemente se proponen distintos ejes en los que podrían formularse programas para una mejora de la tasa de adopción de las tecnologías 4.0 en el ámbito territorial bonaerense. Tales ejes son: a) divulgación; b) transferencia y vinculación; c) fortalecimiento; y d) capacitación.

6 Referencias

- Albrieu, R., Basco, A. I., Brest López, C., De Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M., y Vienni, G. (2019). *Travesía 4.0: hacia la transformación industrial argentina*.
- Anlló, G., & Peirano, F. (2005). *Una mirada a los sistemas nacionales de innovación en el Mercosur: análisis y reflexiones a partir de los casos de Argentina y Uruguay*. CEPAL.
- Archibugi, D. & Coco, A. (2005) Measuring technological capabilities at the country level: A survey and a menu for choice. *Research Policy* 34, Elsevier, pp. 175 – 194.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776.
- Bajic, G., Rikalovic, A., Suzic, N. & Piuri, V. (2020) Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: a managerial perspective. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 546-559.
- Bartis, G. H. (2020). Las tecnologías de la industria 4.0 en la provincia de Buenos Aires y algunas propuestas para promoverlas. *Propuestas para el Desarrollo*, (IV), 93-115.

- Bernat, G. (2020). Contenido tecnológico de las exportaciones argentinas: ¿Contiene más I+ D+ i un dólar de soja que un dólar de autos? *LV Reunion Anual AAEP*.
- BMBF – Federal Ministry of Education and Research (2014). The New High Tech Strategy Innovations for Germany. Federal Ministry of Education and Research.
- Cuadrado Roura, J.R., Mancha, T., Villena, J.E., Casares, J., González, M., Marín, J.M. y Peinado, M.L. (2010) Política Económica: Elaboración, objetivos e instrumentos. 4ª ed. McGraw Hill/Interamericana de España, S.L.
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G. & Sartor, M. (2020) Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics* 226, 107617.
- de Oslo, M. (1997). Manual de Oslo. Recuperado de <http://gestiona.com.br/wpcontent/uploads/2013/06/Manual-de-OSLO-2005.pdf>.
- Easterby-Smith M., Thorpe, R., & Jackson, P. R. (2015). Management and business research. Management and Business Research, SAGE Publications Ltd, Fifth edition.
- Franco, S. F., Graña, J. M., Rikap, C., y Robert, V. (2022). Industria 4.0 como sistema tecnológico.
- Frank, A. G., Dalenogare, L.S. & Ayala, N.F. (2019) Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics* (210) 15-26.
- Griffiths, F., & Ooi, M. (2018). The fourth industrial revolution-Industry 4.0 and IoT [Trends in Future I&M]. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21(6), 29-43.
- Horváth, D. & Szabó, R.Z. (2019) Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting & Social Change*. 146. Elsevier. pp. 119-132.
- Howlett, M. & Mukherjee, I. (2014) Policy design and no-design: towards a spectrum of policy formulation types. *Politics and governance*. 2(2), pp. 57-71.
- Hwang, J. S. (2016). The fourth industrial revolution (industry 4.0): intelligent manufacturing. *SMT Magazine*, 3, 616-630.
- Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of mixed methods research*, 1(2), 112-133.
- Keogan, L., Calá, C. D., y Belmartino, A. (2020). Perfiles sectoriales de especialización productiva en las provincias argentinas: distribución intersectorial del empleo entre 1996 y 2014. *Regional and Sectoral Economic Studies*, 20(1), 59-80.
- Koh, L., Orzes, G., & Jia, F. J. (2019). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(6/7/8), 817-828.
- Liao, Y., Loures, E. R., Deschamps, F., Brezinski, G., & Venâncio, A. (2017). The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. *Production*, 28, e20180061. DOI: 10.1590/0103-6513.20180061

- Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonça, J. & Frank, A.G. (2021) The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting & Social Change*, 168, 120784.
- Morrar, R., Arman, H., & Mousa, S. (2017). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. *Technology innovation management review*, 7(11), 12-20.
- Motta, J. J., Morero, H., & Ascúa, R. (2019). Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina.
- Nelson, R. R. (1994). The co-evolution of technology, industrial structure, and supporting institutions. *Industrial and corporate change*, 3(1), 47-63.
- Nieponice, G., Rivera, R., Tfelti, A. y Drewanz J. (2018) Acelerando el desarrollo de Industria 4.0 en Argentina. Boston Consulting Group.
- Nonaka, L., Takeuchi, H., & Umemoto, K. (1996). A theory of organizational knowledge creation. *International Journal of Technology Management*, 11(7-8), 833-845.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial – ONUDI (2021) Informe sobre el Desarrollo Industrial 2022. El futuro de la industrialización en un mundo post – pandémico. Versión española. Viena.
- Orzes, G., Rauch, E., Bednar, S., & Poklemba, R. (2018, December). Industry 4.0 implementation barriers in small and medium sized enterprises: A focus group study. In *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1348-1352). IEEE.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of intelligent manufacturing*, 31, 127-182.
- Perez, C. (2004). Technological revolutions, paradigm shifts and socio-institutional change. *Globalization, economic development and inequality: An alternative perspective*, 217-242.
- Petrillo, A., De Felice, F., Cioffi, R., & Zomparelli, F. (2018). Fourth industrial revolution: Current practices, challenges, and opportunities (Vol. 1, pp. 67-69). Rijeka, Croatia: InTech.
- 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.
- Schumpeter, J. A. (1935). The analysis of economic change. *The Review of Economics and Statistics*, 17(4), 2-10.
- Stăncioiu, A. (2017). The fourth industrial revolution ‘Industry 4.0’. *Fiabilitate Și Durabilitate*, 1(19), 74-78.
- Swedberg, R. (2020). Exploratory Research. The production of knowledge: Enhancing progress in social science, 17-41.
- Teixeira, J. E., & Tavares-Lehmann, A. T. C. (2022). Industry 4.0 in the European union: Policies and national strategies. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121664.

Yoguel, G., Chanders, V., y Mochi, S. (2021). Innovación por coproducción en industria 4.0: un estudio de caso de inteligencia artificial aplicadas a imágenes médicas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CIECTI. Obtenido de <http://www.ciecti.org.ar/wpcontent/uploads/2021/04/DT23-V05.pdf>.