

## Industria 4.0: potenciales políticas de promoción a nivel subnacional. El caso de la provincia de Buenos Aires

---

**Autores:** Hoyos Maldonado, Daniel; Carattoli, Mariela Cecilia\*

**Contacto:** \*[mariela.carattoli@econ.unicen.edu.ar](mailto:mariela.carattoli@econ.unicen.edu.ar)

**País:** Argentina

### Resumen

Según la ONUDI (2019, 2021), la economía argentina puede ser considerada como usuaria, aunque no productora, de las tecnologías 4.0. No obstante, dicho diagnóstico indica que las empresas argentinas presentan un bajo grado de adopción de tales tecnologías en comparación con sus similares a nivel internacional.

Tanto en el plano global como en el local, se han identificado diferentes barreras que obstaculizan la adopción de esas tecnologías, destacándose: (i) la incertidumbre respecto al retorno de la inversión; (ii) la ausencia de personal calificado para operarlas; y (iii) la presencia de ciertos factores culturales en las empresas que resisten el cambio y la innovación.

Tales limitaciones han sido reconocidas y tomadas en cuenta por diversos países como insumo para la implementación de políticas de promoción específicas para la industria 4.0. Así, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, China, entre otros, han diseñado planes de largo plazo con el objetivo de modernizar ciertos sectores priorizados, así como incrementar la productividad y el empleo en las empresas que lo integran.

En el caso argentino, dada su configuración institucional, es posible establecer que las políticas de promoción de la industria 4.0 pueden ser formuladas tanto a nivel nacional como en el ámbito provincial.

En este trabajo se propone realizar un estudio exploratorio sobre las barreras existentes para el acceso a las tecnologías de la industria 4.0 en el caso de las empresas industriales de la provincia de Buenos Aires. Con tal fin se conformó un panel de empresas del sector, permitiendo establecer diferentes categorías en función de su aproximación a las tecnologías 4.0 y a los programas públicos preexistentes.

A partir de la identificación de barreras y tipologías de empresa, se propone una cierta taxonomía de las políticas de promoción susceptibles de ser ejecutadas a nivel subnacional.

**Palabras clave:** Industria 4.0; tecnología; políticas públicas.

### 1. Introducción

En un contexto donde algunos autores plantean una discusión sobre la Industria 5.0, la literatura académica ha ido convergiendo en torno al objetivo de delinear los alcances de la denominada cuarta revolución industrial, que provocó *un salto disruptivo en el progreso industrial produciendo cambios fundamentales en la sociedad y en la economía* (Petrillo et al., 2018).

En este contexto, distintos autores (por ejemplo, Stăncioiu, 2017; Morrar et al., 2017; Koh et al., 2019) han considerado que tal transformación del proceso manufacturero ha generado una nueva identidad para el sector: la Industria 4.0.

Así, ha surgido un nuevo paradigma de producción industrial a partir de la incorporación e integración de tecnologías digitales avanzadas. De esta manera, se incorporan al proceso de producción manufacturero tecnologías tales como los sistemas ciberfísicos, máquinas y sistemas autónomos (robots), internet de las cosas (IoT), manufactura aditiva, *big data* y análisis de datos, computación en la nube, simulación de

entornos virtuales, inteligencia artificial, ciberseguridad, realidad aumentada, entre otras (Basco, Beliz, Coatz y Garnero, 2018).

En este contexto, el elemento clave de esta estrategia es la integración de los nuevos recursos con la tecnología operacional de cada firma, generándose así un nuevo modelo productivo. El fin perseguido por cada compañía es lograr mejoras concretas en su productividad, rentabilidad y competitividad.

Al mismo tiempo, tal performance, motivada por la innovación tecnológica, trasciende los límites de cada empresa repercutiendo positivamente sobre la productividad agregada (Yoguel, Xhardez y Mochi, 2021) Por ello, diferentes gobiernos han mostrado interés e incorporado en sus agendas el concepto de Industria 4.0 como una cuestión estratégica

Así, en 2011, a través del documento *Industrie 4.0*, Alemania fue el pionero en asignar importancia estratégica a esta cuestión. El objetivo perseguido era mejorar la eficiencia y la productividad de su industria mediante el impulso de la digitalización y de una mayor automatización del sector manufacturero.

Luego, tanto en Europa como en Asia, diferentes países han elaborado planes a fin de transformar el sector industrial mediante la adopción de las tecnologías 4.0 (Oztemel y Gurzev, 2020). Entre otros países, se pueden mencionar a Reino Unido, Italia y Francia, en Europa y a China, Corea del Sur, Japón y Taiwán, en Asia y, en América, a Estados Unidos.

En tanto, los países latinoamericanos, según ONUDI (2019), son usuarios de estas tecnologías, pero no pueden ser calificados como productores de éstas, exhibiendo distintos grados de adopción.

Particularmente, la Argentina ha sido ubicada dentro de un grupo de 17 economías usuarias de tales herramientas tecnológicas. Albrieu et al. (2019) indicaron que se pueden distinguir tres grupos en función del grado de adopción de las nuevas tecnologías y de su dinamismo para cerrar la brecha tecnológica. Así, identificaron un primer grupo de empresas (6%) en el que predominan las tecnologías 3.0 y, en algunas áreas funcionales, se implementaron las tecnologías 4.0. Un segundo agrupamiento de firmas (45%) donde prevalecen las tecnologías 2.0 y 3.0. Finalmente, un importante conjunto de compañías (49%) emplean mayormente tecnologías 1.0 y 2.0 y, al mismo tiempo, no manifiestan acciones concretas para adoptar nuevas tecnologías.

Si bien los autores han identificado distintos grupos de adoptantes tecnológicos, no han podido “discernir si las diferencias sectoriales en materia de adopción de tecnologías se deben a factores intrínsecos de cada sector o a características de las empresas que componen esos sectores como son el tamaño o el perfil exportador” (Albrieu et al., 2019) Tales conclusiones son consistentes con las obtenidas por Bartis (2020) en referencia a la Provincia de Buenos Aires.

Tomando en cuenta tal escenario, el presente trabajo propone un estudio exploratorio respecto de cuáles deberían ser las bases para la formulación e implementación de políticas específicas en relación con la Industria 4.0 en el ámbito de la provincia de Buenos Aires. Dado tal objetivo general, será necesario identificar el grado de conocimiento de las tecnologías 4.0 por parte de las firmas, así como su vinculación con los procesos operativos que éstas desarrollan. También resultará de interés 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. Especialmente y 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. Luego, a partir de un mayor conocimiento sobre tales aspectos empíricos, se podrían identificar aquellos tópicos que, eventualmente, justificarían la implementación de políticas específicas para la difusión de estas tecnologías en tal espacio territorial.

Adicionalmente a esta introducción, se propone una sección de desarrollo donde se exponen los aspectos conceptuales necesarios para interpretar los resultados de este trabajo. A continuación una sección metodológica que describe los aspectos centrales respecto a cómo se desarrolló la investigación. Posteriormente, se presentan los resultados obtenidos. Por último, se detallan las conclusiones relevantes del trabajo.

## 2. Desarrollo

En esta sección se analizarán los principales aspectos conceptuales necesarios para interpretar los resultados obtenidos.

### 2.1. Industria 4.0

El concepto de Industria 4.0 tuvo su origen en Alemania en 2011. La mención surgió en el marco de su estrategia de Alta Tecnología 2020. 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 (BMFB, 2014), asumiendo que el mundo está enfrentando una nueva instancia o etapa en el proceso de industrialización. De hecho, 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).

En este contexto, diferentes definiciones han sido ensayadas buscando describir el fenómeno. Así, por ejemplo, Culot et al. (2020) recopilaron 48 definiciones, de las cuales el 87,5% fue extractada de medios académicos. Tales autores 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 (Culot et al., 2020).

En consecuencia, la Industria 4.0 involucra un proceso de transformación a partir de nuevas tecnologías con foco en lo digital, que tienen el potencial de crear procesos productivos totalmente 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. Su implementación está generando grandes transformaciones productivas, 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 la información y el conocimiento en cadenas globales de valor, con impactos significativos sobre la productividad (Yoguel, Xhardez y Mochi, 2021).

En este marco, las tecnologías involucradas bajo el concepto de Industria 4.0 pueden ser clasificadas en aquellas de naturaleza física o digital (Bai et al., 2020) Las primeras comprenden la fabricación aditiva, la sensorización y los drones. En tanto, las tecnologías digitales incluyen la *cloud computing*, *blockchain*, *big data analytics* y simulación.

Por su parte, Culot et al. (2020) proponen una clasificación extendida de las tecnologías a partir de una combinación de la relevancia del hardware y del software en su configuración y de la conectividad (local o extendida). Así, identifican cuatro grupos tecnológicos: (a) Interfaces Físico – Digitales: sistemas ciberfísicos, internet de las cosas, realidad aumentada, virtual y mixta; (b) Redes: *cloud computing*, soluciones de interoperatividad y ciberseguridad, o *blockchain*; (c) Procesamiento de datos: *big data analytics*, inteligencia artificial y *machine learning* y modelización y simulación; y (d) Procesos Físico – Digitales: impresión 3D, robótica avanzada, soluciones de gestión energética y nuevos materiales.

En tanto, Meindl et al. (2021) indican que la 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 integran los procesos de cada firma con su entorno: cadenas de abastecimiento y clientes.

De esta manera, la implementación de las tecnologías de base es el factor distintivo de la Industria 4.0 y la literatura especializada ha identificado distintas barreras que afectan su adopción.

## 2.2. Desafíos y barreras para la implementación de las tecnologías 4.0

Las capacidades tecnológicas de un territorio emanan de un conjunto de elementos heterogéneos (Archibugi y Coco, 2005). Tales capacidades se encuentran embebidas tanto en equipos y bienes de capital e infraestructura como en las habilidades humanas y el conocimiento científico y técnico. Tales capacidades se encuentran presentes en el componente de conocimiento codificado (manuales, planos, patentes y publicaciones científicas) como, así también, en el tácito (emanado del aprendizaje práctico y la experiencia). Finalmente, tales capacidades se reflejan tanto en la producción de nuevo conocimiento como en su aplicación y divulgación.

La implementación de nuevas tecnologías, a la par de las oportunidades que esto implica, impone desafíos como, así también, supone la presencia de barreras para su puesta en marcha. Cuando este fenómeno trasciende las fronteras de una firma en particular y se trata de un proceso novedoso, tal como lo es la industria 4.0, se pueden caracterizar tales desafíos con un carácter más general.

Así, Bajik et al. (2020) señalaron que se pueden presentar dos tipos de desafíos en la implementación de estas tecnologías: (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) destacaron, 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 predisposición a 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 en seis categorías a partir de los hallazgos de 19 estudios realizados entre 2012 y 2018. Tales categorías [(a) económico – financieras; (b) culturales; (c) competencias y recursos (d) legales; (e) técnicas; y (f) vinculadas al proceso de implementación] se contrastaron con una metodología de grupos focales integrados por pequeñas y medianas empresas de diferentes países. En tal contexto, los autores concluyeron que las barreras principales eran de naturaleza económica: alto costo e incierto retorno de la inversión en tales tecnologías.

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.

Al mismo tiempo, 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 la ciberseguridad y los problemas de propiedad de los datos; e) riesgo de fragilidad; f) integración tecnológica; g) dificultad de coordinación entre las unidades organizativas; h) falta de habilidades y actividades de planificación; y i) resistencia organizacional.

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.

En la región latinoamericana, la proporción de empresas manufactureras que emplean tecnologías 4.0 alcanza solo al 1.2%, predominando, por oposición, los métodos y procesos rígidos (1.0, con uso estanco de tecnología digital) y analógicos (ONUUDI, 2021).

En el caso argentino, la medida de adopción es algo superior (3.0%), aunque predominan las grandes empresas. 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 (no significando la integración de las tecnologías operacionales con las TIC). Sin perjuicio de lo anterior, la ONUUDI (2019) ha ubicado a la economía argentina entre aquellas que implementan en forma activa estas tecnologías, incluyéndose dentro de un grupo de 17 países que son usuarias, pero no productoras, de tales herramientas tecnológicas.

En este contexto, un estudio de Basco et al. (2018) señala que "...el 34% de las empresas argentinas tiene planeado incorporar todas las tecnologías de la industria 4.0 en los próximos 5 años..." Este porcentaje es relativamente bajo en la comparación internacional. Tal diferencia estaría motivada por tres razones principales: a) la ausencia de personal calificado; b) la incertidumbre respecto al impacto de las inversiones sobre el beneficio empresario; y c) la resistencia al cambio y a la innovación en el ámbito de la firma.

### 2.3. Políticas públicas e industria 4.0

Existe un gran consenso entre los economistas en identificar a Jan Tinberger como uno de los padres de la teoría de la política económica. Una premisa básica del reconocido teorema de Tinbergen, indica que, bajo condiciones de certeza, debe existir un equilibrio entre la cantidad de instrumentos independientes y el número de objetivos que persigue la política económica. Luego, en condiciones de incertidumbre, el conjunto de instrumentos empleados deberá exceder la cuantía de objetivos buscados.

De esta manera, un proceso de diseño de política de promoción debiera comenzar con el análisis de la idoneidad de los diferentes instrumentos a fin de alcanzar los resultados de política buscados, así como de aquellos recursos necesarios para que funcionen según lo previsto (Howlett y Mukherjee, 2014). Omitir pronunciarse respecto a la calidad de las relaciones lógicas o empíricas propuestas, daría lugar al modelado de política económica sin diseño.

Por otro lado, la promoción de la actividad industrial se inscribe dentro 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). Las mismas revisten un carácter microeconómico – buscando alentar o desalentar determinados comportamientos de los agentes económicos – y, más allá de sus posibles efectos coyunturales, su horizonte de referencia siempre debiera ser el mediano largo plazo, procurando incidir sobre las decisiones de los agentes económicos, relativas a la asignación de recursos productivos.

Finalmente, uno de los focos de las políticas de promoción debiera ser sin dudas la innovación, un concepto que, de acuerdo con el clásico artículo de Schumpeter (1935) engloba aquellos cambios en la función de producción que no pueden ser descompuestos en pasos infinitesimales. Tales cambios son impulsados por las empresas con el objetivo de mejorar su ecuación económica, a través de progresos en su productividad. Según el Manual de Oslo las innovaciones tecnológicas engloban cambios en los productos o en los procesos, incluyendo tanto la incorporación de maquinarias, equipos e infraestructura como las mejoras en el capital humano necesario para una operación eficiente.

En el entorno de la industria 4.0 el aspecto relevante es el vínculo establecido entre los sistemas físicos y virtuales implementados por las empresas para facilitar el proceso productivo. Así, se pueden enumerar ciertos documentos que resumen la política de promoción de la Industria 4.0, destacándose, entre otros: (a) Industrie 4.0 (Alemania); (b) Advanced Manufacturing Partnership (Estados Unidos); (c) Future of Manufacturing (Reino Unido); (d) Made in China 2025 (China); (e) Smart Industry (Países Bajos); (f) Industria Conectada 4.0 (España) y (g) La Nouvelle France Industrielle (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.

Luego, 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.

Por su parte, 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).

### 3. Metodología

El presente estudio tiene carácter exploratorio a fin de obtener un mayor conocimiento sobre las condi-

ciones necesarias para diseñar e implementar políticas públicas relacionadas con las tecnologías 4.0 en el ámbito industrial.

Se definió como ámbito de estudio el territorio de la provincia de Buenos Aires, conformada por 135 municipios distribuidos en una superficie total de 307.571 km<sup>2</sup>. 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.

A fin de realizar esta investigación se decidió conformar una muestra por conveniencia. En ella se combinan socios de la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA) y otras 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). 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.

Las respuestas totales recibidas fueron 55, 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%.

#### 4. Resultados

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos del relevamiento realizado entre las empresas encuestadas:

- a. El 60% de las empresas encuestadas manifestó desconocer o poseer un conocimiento solo superficial sobre la Industria 4.0 Alternativamente, un segmento minoritario (16,4%) expresó que lo conoce y lo aplica sujeto a una estrategia específica en la materia.
- b. El relevamiento muestra que 4 de cada 10 empresas han incorporado, al menos, una de las tecnologías 4.0 En la siguiente tabla se brinda un panorama del grado de adopción de tales variantes tecnológicas.

**TABLA 1. Proporción de empresas con y sin incorporación de tecnologías 4.0 en territorio bonaerense (en % sobre el total de la muestra relevada)**

Cantidad de tecnologías incorporadas	% de empresas con una estrategia de incorporación de tecnologías 4.0		
	Implementada	No implementada	Total
1	1,8	5,5	7,3
2 / 3	7,3	10,9	18,2
4 o más	7,3	7,3	14,6
<b>Con incorporación</b>	<b>16,4</b>	<b>23,6</b>	<b>40,0</b>
<b>Sin incorporación</b>		<b>60,0</b>	<b>60,0</b>
<b>Total</b>	<b>16,4</b>	<b>83,6</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia

c. Respecto a la vinculación de las empresas con Institutos de I+D se observa que la proporción de empresas que han construido vínculos (54,5%) es mayor a las que carecen de tal relación (45,5%). En el caso de aquellas empresas que han incorporado tecnologías 4.0, la proporción es mayor (72,8% de esta categoría equivalente al 29,1% del total)

**TABLA 2. Vinculación entre empresas e institutos de I+D en el territorio bonaerense (En % sobre el total de la muestra relevada)**

Tipo de vínculo con centros de investigación	Incorporación de Tecnologías 4.0		
	Si	No	Total
Asistencia técnica	9,1	20,0	29,1
Formación de Recursos Humanos	3,6	0,0	3,6
I+D conjunto	7,3	0,0	7,3
Otro	9,1	5,4	14,5
<b>Con Vínculo</b>	<b>29,1</b>	<b>25,4</b>	<b>54,5</b>
<b>Sin Vínculo</b>	<b>10,9</b>	<b>34,6</b>	<b>45,5</b>
<b>Total</b>	<b>40,0</b>	<b>60,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

d. Respecto del vínculo con programas públicos vinculados a Industria 4.0, del análisis de las respuestas obtenidas se concluye que hay un bajo conocimiento de éstos, particularmente en el grupo que no ha incorporado este tipo de tecnología. Este resultado es menos marcado entre las firmas que incorporaron tecnología 4.0 ya que el 41% de las mismas (16,4% del total de la muestra) expresaron que conocen, al menos, un programa. De esta última proporción de empresas, algo más de la mitad (55,6%) han accedido a tales programas y han realizado una evaluación satisfactoria de sus prestaciones.

**TABLA 3. Conocimiento de programas públicos vinculados a la Industria 4.0 en el territorio bonaerense (en % sobre el total de la muestra relevada)**

Conocimiento de la existencia de programas públicos	Incorporación de Tecnologías 4.0		
	Si	No	Total
Si	16,4	1,8	18,2
No	23,6	58,2	81,8
<b>Total</b>	<b>40,0</b>	<b>60,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

e. Las empresas consultadas postularon los paquetes tecnológicos más adecuados con sus proyectos, calificando la relevancia relativa de las diferentes tecnologías 4.0. Sin perjuicio de ello, de las respuestas se infiere que la evaluación de cada tecnología no se realiza en forma aislada, sino que, en la mayoría de los casos, se asume que la implementación debería incluir más de una de las tecnologías. Por esta razón, los porcentajes volcados en la siguiente tabla exceden el 100% de la cantidad de firmas.

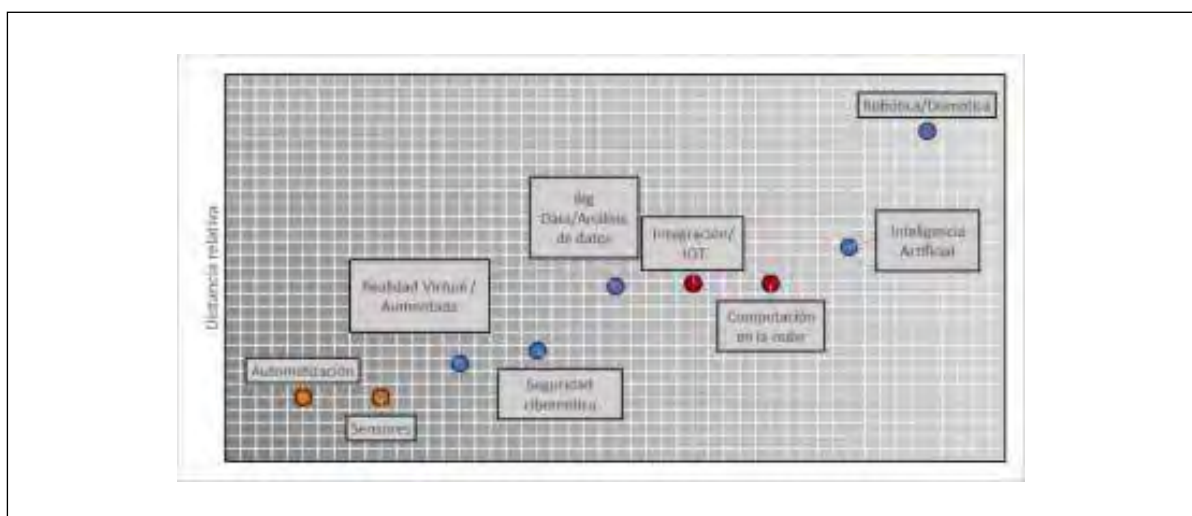
TABLA 4. Percepción de la importancia relativa de las Tecnologías 4.0 en empresas radicadas en el territorio bonaerense (en % sobre el total de la muestra relevada)

Tecnología 4.0	% de empresas con relación al total de la muestra
IoT	30,9
Automatización	27,3
Sensores	23,6
Computación en la nube	14,5
Robótica	14,5
Inteligencia Artificial	9,1
Big Data	7,3
Realidad Aumentada	3,6
Seguridad Cibernética	1,8

Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, del análisis del conjunto de la información, se infiere la presencia de ciertos clústeres tecnológicos que se resumen en la siguiente gráfica. Cada grupo se encuentra integrado por los elementos más similares entre sí y diferentes de los integrantes de los otros grupos.

GRÁFICO 1. Agrupamientos de las Tecnologías 4.0 en función de las respuestas de ciertas empresas radicadas en el territorio bonaerense (minimización de la distancia respecto al centro de cada grupo)



Fuente: Elaboración propia.

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 y, de este modo, evaluar distintos instrumentos de intervención en función de tales características. 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.

TABLA 5. Taxonomía de empresas objetivo de políticas públicas de promoción

Conocimiento sobre las tecnologías 4.0	¿Implementaron una estrategia de incorporación de Tecnologías 4.0?	¿Han incorporado Tecnologías 4.0?	¿Conocen Programas Públicos específicos?	¿Aplicaron a Programas Públicos?	Grupos taxonómicos de empresas
No					1
Si	No	No	No		2
			Si		3
		Si	No		4
			Si	No	5
	Si	Si	Si	Si	6
			Si	Si	7
			Si	No	8
			No		9
			Si		10
			No	No	11

Fuente: Elaboración propia.

## 5. Discusión y análisis

De acuerdo con la revisión realizada y con las respuestas obtenidas del relevamiento mencionado entre empresas bonaerenses, se identifica como problema central el bajo grado de adopción de tecnologías 4.0 por parte de las firmas manufactureras. 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. Tomando en cuenta la taxonomía mencionada en la sección precedente, se puede establecer una gradación de empresas que fluctúa desde aquellas que desconocen las tecnologías hasta compañías 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 7 a 11) 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 7, 8 y 9) de los que no (grupos 10 y 11).

En segundo lugar, el grupo mayoritario es aquel que no cuenta con una estrategia específica (grupos 1 a 6). 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 y 3) y los que las han adoptado, pero por fuera de una estrategia determinada (grupos 4, 5 y 6).

Tal panorama se completa con el grado de conocimiento de la existencia de programas públicos específicos y la eventual aplicación a los mismos.

Una característica básica que condiciona el diseño de las políticas públicas, en general y de cada uno de los programas, en particular, son los alcances jurisdiccionales del organismo responsable de su implementación. Así, tales programas se encuentran sujetos a determinado ámbito territorial y normativo. Esto es particularmente válido cuando tales políticas corresponden a una jurisdicción subnacional como una provincia, departamento o municipio. Esto implica que, si bien se puede ser exhaustivo en la identificación de las causas que operan detrás de un determinado problema, la actuación pública puede encontrarse delimitada en torno a algunas de tales causas.

Tomando en cuenta la hipótesis de políticas a nivel subnacional y la taxonomía de empresas bonaerenses indicada precedentemente se van a proponer 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.

El eje divulgación involucraría un programa destinado a comunicar las experiencias, los beneficios y progresos en relación con las tecnologías 4.0 con el fin de que un creciente número de personas y empresas acrecienten su conocimiento sobre el tema. Con ello, se podría aspirar a que una mayor valorización de las tecnologías 4.0 a nivel general proporcione un ambiente más propicio para su incorporación por parte de las compañías. Los beneficiarios primarios serían los grupos 1 a 3.

El eje transferencia y vinculación debería tener por objetivo primario promover la constitución de redes de empresas que tengan como temática común las tecnologías 4.0, donde los principales beneficiarios serían los grupos 10 y 11, que cuentan con una estrategia de adopción, pero que no han realizado las inversiones correspondientes.

El eje fortalecimiento debería tener por finalidad mejorar las capacidades de las firmas para desarrollar proyectos vinculados a las tecnologías 4.0 y, en particular, asistir en la mejora del acceso al financiamiento de iniciativas que buscan incorporar tales innovaciones. Este eje podría involucrar tres objetivos específicos. En primer lugar, mejorar la capacidad de evaluación de las empresas para determinar la conveniencia de realizar inversiones en tecnologías 4.0. En segundo término, incrementar la capacidad de las firmas para formular estrategias de integración tecnológica. Por último, podrían contemplarse diseños específicos para sortear las limitaciones al acceso al financiamiento que enfrentarían algunas firmas. Los grupos 5, 6, 8, 10 y 11 podrían ser los principales destinatarios de esta línea de trabajo.

El eje capacitación trasciende a grupos específicos y tiene un carácter más general, pues, involucra a los recursos humanos del territorio en cuestión. En este punto convive un problema relacionado con el plantel de trabajadores de las empresas que carecerían de la formación suficiente para operar las nuevas tecnologías; y la carencia de recursos humanos suficientes en el mercado local por fuera de las empresas. Una variante es implementar programas de formación específicos complementados con prácticas educativas específicas en el uso de las citadas tecnologías dentro del sistema educativo formal, particularmente, a nivel secundario y terciario.

## 6. Conclusiones

El presente trabajo explora sobre las barreras existentes para el acceso a las tecnologías 4.0 en el caso de las empresas industriales bonaerenses y, en consecuencia, se sugieren políticas específicas en el ámbito subnacional.

Se obtuvieron resultados consistentes con lo observado a nivel nacional e internacional respecto a la baja adopción de tales tecnologías. Si bien Argentina es considerada, esencialmente, una usuaria de las

tecnologías, se detectaron casos minoritarios de adopción de las tecnologías en el marco de una estrategia especialmente diseñada por las empresas. También hay casos de incorporación tecnológica pero que no responden a una planificación concreta. Sin perjuicio de lo anterior, la mayor parte de los entrevistados no las han incorporado a sus procesos ya sea por desconocimiento o por falta de evaluación o por carencia de recursos suficientes.

Este panorama sería consistente con un desempeño exitoso de los programas públicos en la materia. Sin embargo, los resultados obtenidos indican que el 81,8% de los entrevistados (público meta) no tienen conocimiento sobre la existencia de tales programas. A pesar de que este dato representaría una aparente restricción, el 54,1% de las firmas tienen algún tipo de vínculo con Institutos de I+D radicados en el territorio bonaerense. Este porcentaje crece al 72,8% si se refiere al grupo de empresas que han incorporado las tecnologías 4.0. Con lo cual podría existir una oportunidad concreta para el desarrollo de programas a nivel subnacional.

Luego, de acuerdo con la taxonomía de empresas expuesta, no debería tratarse de un programa único, sino que debiera cubrir, al menos, cuatro ejes: (a) divulgación; (b) transferencia y vinculación; (c) fortalecimiento; y (d) capacitación. Cada una de estas aristas tendría un público meta diferente, incluso trascendiendo las fronteras de las propias empresas.

Finalmente, sería razonable que estos programas, de diseñarse, estuvieran articulados con iniciativas de la órbita nacional.

### Referencias bibliográficas

- 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*. Nota técnica N° IDB-TN-1672. INTAL, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Archibugi, D. y Coco, A. (2005) Measuring technological capabilities at the country level: A survey and a menu for choice. *Research Policy*, 34, 175 – 194.
- Bajic, G., Rikalovic, A., Suzic, N. y 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.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D. y Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro (Vol. 647)*. Inter-American Development Bank.
- 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. y Sartor, M. (2020) Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226, 107617.
- Easterby-Smith M., Thorpe, R. y Jackson, P. R. (2015). *Management and business research* (5a ed.). Management and Business Research, SAGE Publications Ltd.
- Frank, A. G., Dalenogare, L.S. y Ayala, N.F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, (210) 15-26.

- Griffiths, F. y 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.
- Hwang, J. S. (2016). The fourth industrial revolution (industry 4.0): intelligent manufacturing. *SMT Magazine*, 3, 616-630.
- Horváth, D. y 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, 119-132.
- Howlett, M. y Mukherjee, I. (2014). Policy design and no-design: towards a spectrum of policy formulation types. *Politics and governance*, 2(2), 57-71.
- Koh, L., Orzes, G. y 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. y Venâncio, A. (2017). The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. *Production*, 28, e20180061. DOI: 10.1590/0103-6513.20180061
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R. y Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257.
- Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonça, J. y 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. y Mousa, S. (2017). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. *Technology innovation management review*, 7(11), 12-20.
- Oztemel, E. y Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of intelligent manufacturing*, 31, 127-182.
- Pereira, A.C y Romero, F (2017) A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Petrillo, A., De Felice, F., Cioffi, R. y Zomparelli, F. (2018). *Fourth industrial revolution: Current practices, challenges, and opportunities* (Vol. 1, pp. 67-69). InTech.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L. y 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.
- Stăncioiu, A. (2017). The fourth industrial revolution 'Industry 4.0'. *Fiabilitate Și Durabilitate*, 1(19), 74- 78.