

Industria 4.0 como sistema tecnológico. Los desafíos de la política pública^ξ

Industry 4.0 as a technological system. Challenges for public policy

Sebastián Fernández Franco^{*}

Juan M. Graña^{**}

Verónica Robert^{***}

Resumen

En la última década hemos observado el desarrollo de un nuevo paquete vinculado a las tecnologías de la información y comunicación en el sector manufacturero: la industria 4.0. En este trabajo, a la luz de considerar la I4.0 como un sistema tecnológico, estudiamos el caso argentino, con foco en cuál es la oferta de bienes y servicios propios de este sistema. Así, se trata de aportar a la literatura especializada desde una economía que se caracteriza por una estructura productiva heterogénea. El desarrollo la oferta de la I4.0 tiene especial interés en la búsqueda de transitar un proceso de adopción acelerado con vistas a reducir el gap tecnológico que separa a nuestra economía de las más desarrolladas.

En el trabajo, se ha encontrado que el sistema tecnológico de la I4.0 nacional cuenta, si bien con reducidas empresas, con competencias en varias áreas tecnológicas (e.g. software, IA, Internet de las Cosas) y que los recorridos de diversificación productiva son similares a aquellos vistos en el sistema global. Estudiadas algunas de ellas en concreto, se ha observado que la oferta de bienes y servicios de este sistema es heterogénea y tiene distintas características. Así, se han propuesto distintas clasificaciones para reflexionar sobre los alcances de la política pública. Por último, se considera que la misma debe atravesar 3 ejes claves: el tamaño pequeño/medio estructural de las empresas, la segmentación del mercado y la escalabilidad de las soluciones.

Palabras clave: Industria 4.0; sistema tecnológico; Argentina; oferta; política pública

JEL: L1; O25; O32

Abstract

During the last decade, a new set of information and communication technologies applied to the industrial sector has emerged: Industry 4.0 (I4.0) technological system. In this article, we study the Argentina's case, focusing on I4.0 goods and services' supply.

^ξ - Recibido 11 de noviembre de 2023/ Aceptado 15 de marzo de 2024

^{*} Becario Doctoral del CONICET en CEPED-UBA. Correo electrónico: sebastian.fernandezfranco7@gmail.com

^{**} Investigador Adjunto del CONICET en CEPED-UBA. Correo electrónico: juan.m.grana@gmail.com

^{***} Investigadora Independiente del CONICET en CEED-UNSAM. Correo electrónico: vrobot@gmail.com

We aim to contribute to the literature from the angle of an economy characterized by its heterogeneous productive structure. Developing I4.0 supply is of major importance to increase the technological adoption to catch up.

We found that although the Argentina's I4.0 technological system has a reduced number of firms, it has competences in several technological areas (e.g. software, AI, IoT). Moreover, the productive diversification trajectories are similar to those observed in the global technological system. After studying some of them, we discover that the Argentina's I4.0 supply is heterogeneous and has different characteristics. In effect, we propose different classifications that can help the public policy. Last, we consider that policy makers have to take into account 3 key dimensions: the structural small/medium size of the firms, the market segmentation and the solutions' scalability.

Keywords: Industry 4.0; technological system; Argentina; supply; public policy

1. Introducción

En los últimos diez años hemos presenciado el surgimiento y expansión de una nueva ola de tecnologías de la información y comunicación (TIC) caracterizadas por su mayor imbricación en la producción de bienes y servicios. Se trata, para algunos autores de un proceso de convergencia tecnológica entre los dominios digital, físico y biológico, que permite no solo una mejor gestión y control de procesos productivos, sino también la actuación directa sobre los mismos a través de la generación, procesamiento y análisis de información en tiempo real (Schwab, 2017).

Ahora bien, estas nuevas tecnologías digitales constituyen las *Key Enabling Technologies* (KET) (Chang & Andreoni, 2020; Ciffolilli & Muscio, 2018, Martinelli et al 2020, 2015, Andreoni 2020) del actual paradigma tecno-productivo (Dosi, 1982; Perez, 2010), en el que los datos emergen como el recurso clave, con potencial de transformar y mejorar procesos y generar nuevos bienes y servicios, a partir de su procesamiento a velocidad creciente.

Por otra parte, la flexibilidad de adaptación y la capacidad para proveer soluciones particulares en diferentes contextos productivos también permiten caracterizarlas como tecnologías de propósito general (GPT, por su siglas en inglés (Bresnahan, 2010). Entre sus múltiples campos de aplicación, estas tecnologías irrumpen en la producción manufacturera, con instrumentos de gestión y control de los procesos, automatización flexible, asistencia al diseño, simulación de procesos industriales complejos y en la gestión del control de la calidad. Más allá de los cambios cualitativos en los procesos productivos, es claro que este proceso conducirá a incrementos de la productividad y a la emergencia de nuevos productos y servicios asociados a la producción.

En el pasado, las KET y las GPT han mostrado ser motores de la productividad sistémica, no sólo por los nuevos productos y servicios (nuevos equipamientos, instrumentos y maquinarias, nuevas disciplinas, nuevos puestos de trabajo y nuevas competencias requeridas), sino también porque su aplicación generalizada tiene el potencial de mejorar la eficiencia productiva de cada campo de aplicación (David & Wright, 1999, Rosenberg, 1974, Freeman, 1985). Así, la transversalidad, la convergencia con otras tecnologías y la capacidad de potenciar los procesos existentes

nos permiten caracterizar al conjunto de nuevas tecnologías como un nuevo y disruptivo sistema tecnológico (Carlsson & Stankiewicz, 1991).

Ahora bien, todo proceso de adopción de nuevas tecnologías es un proceso adaptativo y de aprendizaje, que requiere tanto del desarrollo de estas tecnologías como de los campos y ámbitos de aplicación. Estos campos y ámbitos constituyen el terreno para la experimentación de nuevos usos, para la puesta en práctica de diferentes hipótesis sobre potenciales aplicaciones y sobre todo para la mejora continua a través de la introducción de innovaciones incrementales y adaptativas que permita la exploración y explotación de las potencialidades que este nuevo paradigma ofrece (Freeman, 1995; Lundvall, 2016; Winter & Nelson, 1982).

En Argentina, con una estructura productiva heterogénea y concentrada, la permeabilidad de las nuevas tecnologías digitales se está dando de forma paulatina y atendiendo de diferente manera a los distintos sectores productivos (Albrieu et al., 2019; Motta et al., 2019). La existencia de un sector industrial con un desarrollo moderado (atrasada en relación con los países desarrollados, pero con una posición relativamente mejor que la de otros países de la región) vuelve atractivo analizar hasta qué punto estas tecnologías están permeando y cómo se articulan en los sistemas tecnológicos vigentes. Es decir, analizar cómo se imbrican en la industria local (ya sea a través de la modificación de procesos productivos, como a través del desarrollo de nuevos productos y servicios) y en la trama de competencias y capacidades sobre la que esta industria se despliega (Andreoni, et al 2020, Casalet, 2018; Casalet & Stezano, 2020).

En este trabajo presentamos los resultados de una investigación¹ sobre las empresas locales con oferta de bienes y servicios de Industria 4.0 para la rama manufacturera. Para ello, indagamos especialmente en la composición de la oferta local y la forma en que ésta articula con usuarios locales. Consideramos también el grado de complementación de soluciones importadas con soluciones nacionales y la importancia de los procesos adaptativos locales. A partir de este estudio, se evalúa hasta qué punto es posible construir una industria basada en tecnologías de la industria 4.0 competitiva, con el potencial de mejorar -vía adopción temprana, adaptación y mejoras a través de innovaciones incrementales- la productividad de la industria local de Argentina. Por último, se propone un marco de acción para la política pública en materia de difusión de estas tecnologías (Ergas, 1986). Esto implica el desarrollo de una red institucional y de infraestructura pública para la construcción de competencias, así como también el desarrollo de sectores y tecnologías estratégicas que favorezcan el aprendizaje tecnológico en un amplio abanico de sectores productivos. En particular, generar seguidores inteligentes (*smart followers*) de los grandes avances tecnológicos introducidos en países líderes que permitan no solo ser usuarios, sino incidir en el tipo de uso y adaptación que se hace de estas tecnologías, dando lugar a un flujo de innovaciones incrementales con impacto sobre la competitividad sistémica (Chiang, 1991; Cantner & Pyka, 1999).

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la próxima sección se presenta el sistema tecnológico de la I4.0 a nivel global y en Argentina. En la Sección 3 se construye una primera caracterización de sus actores que constituyen la oferta de bienes

¹ La investigación se desarrolló entre junio y noviembre de 2021 con financiamiento del Consejo para el Cambio Estructural del Ministerio de Desarrollo Productivo. Aquí nos concentramos en sus resultados principales, para ver el documento completo y su metodología en particular ver Fernández Franco et al. (2022)

y servicios en Argentina mientras que, en la Sección 4, se analizan algunas de esas empresas por medio de la información obtenida de entrevistas en profundidad. Por último, en la Sección 5, se reflexiona sobre los ejes que debe atravesar la política pública, así como qué vínculos e instrumentos debería priorizar su intervención.

2. Hacia una operacionalización del sistema tecnológico de la industria 4.0: los principales actores y la red de tecnologías y aplicaciones a nivel global

2.1. Una aproximación conceptual a los sistemas tecnológicos y su relevancia para la caracterización de la industria 4.0

La idea de que las tecnologías de la industria 4.0 tienen el potencial de constituir un sistema tecnológico que marque el sendero y el ritmo del cambio tecnológico y de la innovación tiene amplia aceptación en la literatura académica (Andreoni et al., 2021). Desde una perspectiva de política pública, esto implica fortalecer los canales de difusión de la tecnología (Ergas, 1986) ya que en el aprendizaje entre proveedor y cliente es donde surgen los espacios para la mejora y adaptación, que conllevan a mayor productividad, pero también para la translación de soluciones tecnológicas entre industrias apalancada sobre un sendero de aprendizaje previo. Explotar estos mecanismos de aprendizaje requiere de una oferta local con competencias de adaptación y desarrollo.

Desde un marco conceptual basado en la literatura de sistemas socio-técnicos, Hughes (1987) define a los sistemas tecnológicos como un conjunto complejo y desordenado de componentes dedicados a la solución de problemas. Estos sistemas son construidos socialmente y a su vez dan forma a la sociedad. Incluyen artefactos físicos y no físicos (como normas y regulaciones) y organizaciones, entre las que están las empresas proveedoras de bienes y servicios, así como oficinas públicas y áreas de gobierno, centros de formación, universidades y organizaciones gremiales y sindicales. Dichos componentes de los sistemas tecnológicos interactúan de formas compleja y no lineal complementándose mutuamente. Cambios en uno de los componentes marginales del sistema pueden no tener efectos significativos sobre la dinámica global del mismo, pero cambios sobre componentes centrales dan lugar a modificaciones complementarias en todos los demás generando procesos de transformación estructural.

Podemos decir que las tecnologías propias de la I4.0 eran componentes marginales del sistema en el momento de su emergencia que, como documentan Brixner et al., (2020) ocurrió a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. La Inteligencia artificial (IA) de los años cincuenta difícilmente tuviera impactos sistémicos por su baja imbricación con el resto de las tecnologías prevalecientes. Pero, de la mano del crecimiento en la capacidad de procesamiento, así como de la difusión de internet –medio de producción y recopilación de datos-, se vuelve una tecnología de propósito general. Al mismo tiempo, al ocupar la IA un lugar de mayor centralidad en el sistema se vuelve más imprescindible para el desarrollo de otras tecnologías vinculadas. En efecto, sus mejoras incrementales tienen mayor impacto sobre el resto del sistema, lo cual ocurre a una velocidad incomparable.

Siguiendo a Rosenberg (1974), las mejoras incrementales pueden ser más significativas que las innovaciones radicales cuando entendemos que las innovaciones no se presentan

de forma aisladas sino como “racimos” que pueden generar efectos cascada que conduzcan a cambios estructurales.

De acuerdo con Carlsson & Stankiewicz (1991), los sistemas tecnológicos se definen como una red de actores en una determinada área industrial o tecnológica, bajo una particular infraestructura institucional. Esta red se aboca a la difusión, generación y utilización de la tecnología. De este modo, los sistemas tecnológicos se definen por los flujos de conocimientos y competencias más que por los flujos de bienes y servicios, porque en estos flujos de conocimiento emergen las complementariedades y las oportunidades de innovación. Para estos autores, las oportunidades de crecimiento económico a nivel nacional surgen del grado de desarrollo e involucramiento de los actores nacionales en estos sistemas tecnológicos. Si bien los límites de los sistemas tecnológicos pueden no superponerse con las fronteras nacionales, la función de los actores locales en estos sistemas y el grado y densidad de las interconexiones que estos sistemas alcancen a través de los sistemas productivos nacionales permitirán una mayor explotación de los beneficios de la circulación de conocimiento. Es decir, del aprendizaje tecnológico y de la innovación a partir de la combinación de tecnologías, la exploración de nuevos ámbitos de aplicación y la generalización de los desarrollos exitosos en otras ramas industriales.

En este contexto, la política pública pasa a tener dos funciones centrales: en primer lugar, fomentar el desarrollo y construcción de este sistema, que, como el enfoque sociotécnico sostiene, se construye socialmente. El Estado es, de hecho, una organización central de esta red (constituye en sí mismo una subred compuesta por múltiples sub-organizaciones y artefactos). Esto lo puede hacer a partir de: (i) generar nuevos componentes de la red (nuevas organizaciones orientadas a la difusión y aprendizaje tecnológico, o nuevas empresas públicas, especialmente para la generación de la infraestructura subyacente del sistema tecnológico²), (ii) fortalecer a las organizaciones actuales (a través subsidios a la innovación y a la incorporación de tecnología, especialmente cuando las organizaciones sean reacias a hacerlo), y (iii) promover las vinculaciones entre componentes (con fomento a la difusión de tecnologías). Y, en segundo lugar, promover cambios estructurales sobre la base de regulaciones, compra pública o desarrollo de infraestructura pública, con potencial de multiplicarse por las interacciones sistémicas entre componentes. Es decir, aprovechar la estructura existente para amplificar los efectos de la política pública (aunque esto presupone claramente la existencia de esa estructura de red).

2.2. Red de tecnologías de la industria 4.0

En este marco, la industria 4.0 podría entenderse como la adopción integral por parte de empresas manufactureras de una nueva generación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (Brixner et al., 2020), caracterizadas por el uso masivo de datos y por la creciente capacidad computacional para su procesamiento en tiempo real. En general, se presenta como la "digitalización" de la industria o la creación de modelos

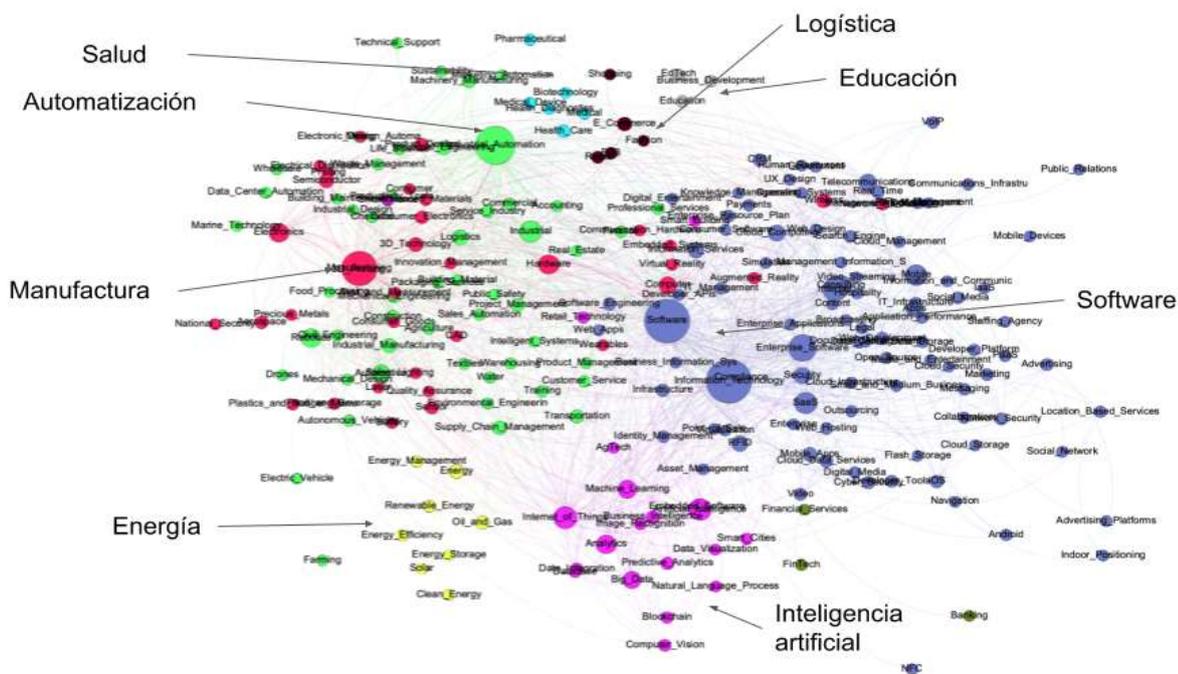
² Un actor clave dentro del conjunto de organizaciones asociadas al sistema tecnológico de la I4.0 son las plataformas globales que gestionan los activos críticos del nuevo paradigma, es decir, datos (crudos y procesados) e infraestructura digital.

cibernéticos para la industria, a través de la convergencia de la información y la producción, así como la del servicio y la fabricación (Mussomeli et al., 2016).

Las nuevas tecnologías de la I4.0 incluyen la IA (se destacan el *machine learning* y dentro de este último las técnicas de *deep learning* y *neural networks*), robotización, manufactura aditiva o impresión 3D, sensorización y visualización digital, entre otras (Brixner et al., 2020; UNCTAD, 2021; Vogel-Heuser & Hess, 2016). Así, podemos considerar a la I4.0 como la forma que tomará la producción manufacturera al integrar en su núcleo las siguientes dimensiones: (i) información proveniente de los objetos en todas las etapas de los procesos de producción que circula en tiempo real mediante “Internet de las cosas”, (ii) creciente capacidad de almacenamiento y procesamiento de información estructurada y no estructurada y (iii) aplicación de técnicas de IA para la automatización de procesos de decisión (Basco et al., 2018; Bonekamp & Sure, 2015).

En el Gráfico 1 puede verse una red de conocimiento y empresas a nivel mundial³, a saber, una aproximación empírica al sistema tecnológico global de la I4.0. Al respecto, algunas aclaraciones previas a su análisis. En primer lugar, los nodos de la red son las 269 industrias⁴ en las que las más de 10.000 empresas analizadas tienen competencias. En segundo lugar, las vinculaciones de la red refieren a los patrones de diversificación emergentes de las empresas analizadas, y en su conjunto ponen de manifiesto la fuerte interconexión que existe entre tecnologías y campos de aplicación del área, es decir, los procesos de convergencia tecnológica de los cuales emergen procesos de aprendizaje, innovaciones incrementales y cambio estructural. Luego, los campos identificados refieren a subconjuntos de tecnologías e industrias que encuentran vinculaciones más fuertes entre sí.

Gráfico 1. Sistema tecnológico a nivel global: tecnologías y aplicaciones



³ La metodología de construcción sigue a Vázquez et al. (2022) y Cretini et al. (2021) y consiste en identificar en la base de datos Crunchbase la descripción de las actividades y capacidades de las empresas para construir la red de conocimiento a partir de los pares de términos seleccionados que aparecen conjuntamente.

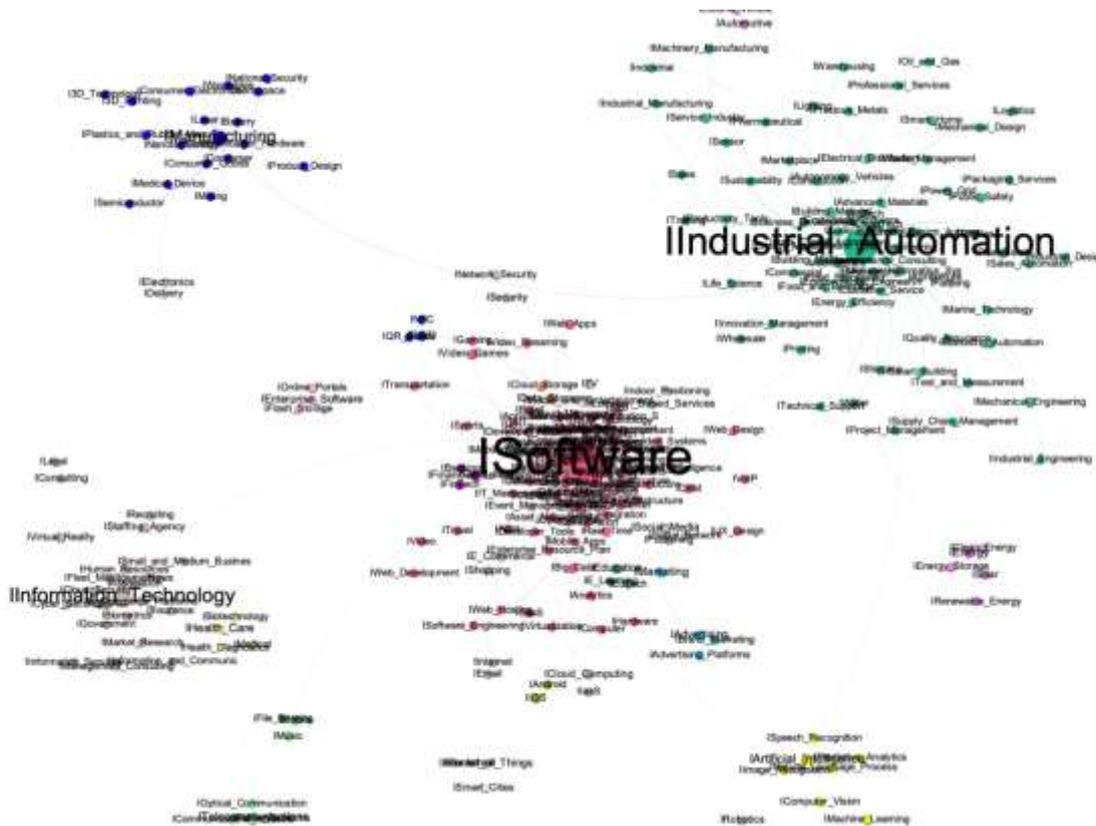
⁴ La clasificación de industrias de la base de datos de Crunchbase combina tecnologías y aplicaciones.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información CB.

En este mapa se pueden identificar cuatro campos centrales: Automatización, Manufactura, Software e IA, junto a varios campos de aplicación, entre los que sobresalen energía, salud, logística, educación y servicios financieros. Otros campos de aplicación están contenidos dentro de los mismos campos tecnológicos. Por ejemplo, mientras que automotriz está dentro de automatización, con los nodos ‘autos eléctricos’ y ‘vehículos autónomos’ y otros que implican tecnologías relacionadas como drones y robots, dentro de manufactura aparece una gran cantidad de actividades industriales vinculadas estrechamente con los sectores tecnológicos de automatización y software. Los campos de manufactura y automatización se hallan imbricados fuertemente entre ellos y presentan fuertes vinculaciones con software.

Por otra parte, el campo de conocimiento que denominamos IA (nodos en violeta) contiene, de hecho, a un conjunto amplio de tecnologías digitales emergentes y también, a algunos campos de aplicación como Agtech y cercano a otros nodos relativos a finanzas. Este campo muestra una alta cohesión con fuertes interrelaciones intragrupo, que se justifica en bases de conocimiento convergentes.

Gráfico 2. Red MST: los caminos más frecuentes de la diversificación



Fuente: Elaboración propia sobre la base de información CB.

En el Gráfico 2 se observa el “árbol recubridor máximo” (o MST “maximum spanning tree”, en inglés)⁵. Lo primero que observamos es la centralidad que adquiere la industria

⁵ Estimar el MST de una red implica descartar conexiones débiles hasta revelar esqueleto de la red que contiene a todos los nodos dentro de un mismo componente, pero solo con las conexiones más fuertes entre dos nodos

del software. Es decir, los nodos asociados a la industria del software ocupan una posición de intermediación con respecto a otras tecnologías de la red. Esto significa que, para poder recorrer la red desde un extremo al otro, es necesario tener competencias en desarrollo de software, o que las empresas que participan de la oferta de I4.0 tienen en forma generalizadas competencias en desarrollo de software, que se combinan con otras tecnologías o capacidades. La automatización industrial también ocupa un rol protagónico, intermediando las conexiones entre software y manufactura. Por último, el núcleo de nuevas tecnologías propias de las I4.0 (IA, big data, robótica, etc.) constituye un grupo en sí mismo fuertemente conectado, que a su vez se vincula con el componente de software y de automatización industrial.

En síntesis, las empresas que componen la oferta global de I4.0 tienen perfiles diferentes que integran con competencias previas y con el desarrollo de nuevas tecnologías. Efectivamente se observa una convergencia tecnológica en tanto las competencias y ámbitos de aplicación de las empresas se combinan y complementan. Si bien el ejercicio nos permite identificar campos de conocimiento, estos están fuertemente imbricados entre sí. Al observar los caminos de diversificación más frecuentes, se pone de manifiesto la centralidad del sector de software que opera como el principal conector entre los demás campos de conocimiento.

2.3. La oferta de Industria 4.0 en Argentina: aproximación cuantitativa

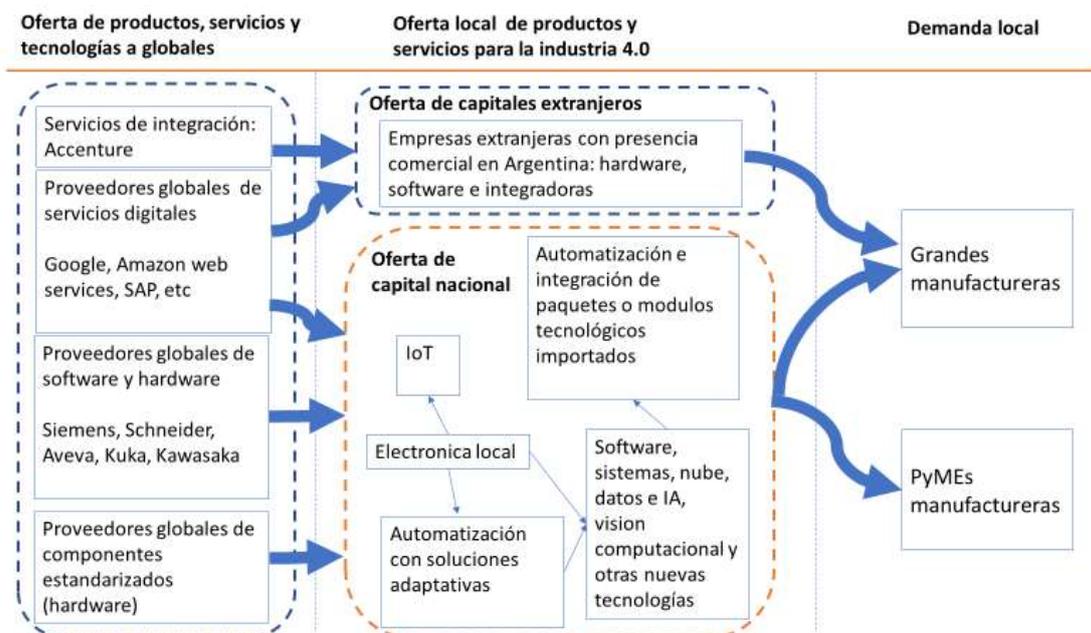
Con idéntica metodología, pero complementando Crunchbase con otras fuentes, se construyó, un mapa equivalente para las empresas locales de Argentina (Gráfico 3).

En la red argentina se observa la gran centralidad del sector del software, de la automatización industrial y de internet de las cosas. Del análisis de modularidad de la red emergen cinco comunidades. La primera, compuesta por la mayor cantidad de tecnologías e industrias, la denominamos “software” y ocupa un lugar central en la red. En la segunda, vemos las industrias más asociadas a la automatización, con hardware, ingeniería y diseño mecánico, y robótica. En tercer lugar, figura una comunidad asociada a internet de las cosas y a la sensorización, en cuarto lugar, la que compromete a casi todas las tecnologías propias de la I4.0 y por último, una pequeña comunidad de visión computacional.

cualesquiera. Esto implica revelar los senderos de diversificación más frecuentes recorridos por las empresas del sector a nivel global.

El mercado se completa con la oferta doméstica de productos y servicios de I4.0, que es fundamentalmente adaptativa por su condición de subordinación en las cadenas de valor y las empresas manufactureras usuarias, que conviene distinguir entre Pymes y Grandes (Diagrama 1).

Diagrama 1. Tipos de actores en el mercado local de soluciones 4.0 y principales relaciones



Fuente: elaboración propia sobre base de entrevistas realizadas y recopilación de información de empresas.

Las empresas extranjeras que operan localmente tienen una capacidad desigual y fragmentaria para infiltrar el tejido productivo argentino. En primer lugar, algunas de estas empresas tienen representación comercial en Argentina que utilizan para llegar con sus soluciones al mercado local, pero en el segmento de grandes usuarios, dado que cuentan con la capacidad financiera para afrontar los costos de sus soluciones. También pueden vender productos y servicios de manera parcial (por ejemplo, brazos robóticos, servicios de la nube o motores de IA) para que sean adaptados por integradores locales. Entre estos actores destacan lo que aquí llamamos proveedores globales de componentes, que se distinguen de los anteriores en una oferta más estandarizada de una amplísima gama de productos (sensores, servomotores, chips, placas, servicios de impresión de placas, etc.) generalmente de origen chino. El diferencial de esta oferta reside en sus menores precios ya que operan en un segmento más competitivo y son de menor complejidad intrínseca, los cuales deben combinarse e integrarse para proveer soluciones tecnológicas o productivas.

Las empresas locales, por su parte, abastecen a la demanda tanto de grandes como de pequeñas y medianas empresas. Esta particularidad es muy relevante en tanto el tipo de actor atienden puede ser completamente diferente, así como los procesos de aprendizaje a que conlleva y las interacciones sistémicas que puede generar. Entre ellas, es posible

distinguir 5 grupos de empresas: las integradoras, software o soluciones digitales, IoT, electrónica local y de automatización con soluciones adaptativas.

Entre las empresas *integradoras* también se encuentran las empresas de automatización e incluso de máquinas-herramienta, que mantienen vínculos cercanos con proveedores globales (siendo en algunos casos representantes comerciales) y actúan en muchos casos como adaptadores de soluciones importadas. Esto no implica que no realicen esfuerzos de desarrollo de ingeniería, puesto que las condiciones productivas locales requieren esa adaptación. La diversidad de situaciones dentro de este grupo de empresas es potencialmente muy grande, dependiendo de la complejidad de los desarrollos de los que son capaces. En algunos casos simplemente instalan equipos importados, en otros los integran con desarrollo ad-hoc, en otros realizan el diseño completo de automatización de líneas, y lo implementan incorporando equipamiento importado complejo y dispositivos importados estandarizados con servicios de ingeniería y montaje industrial propio, que puede incluir manufactura de piezas, partes y componentes de la línea o demanda de componentes locales. Entre estas, existe un subtipo -que denominados “*integradoras adaptativas*”- que, a diferencia de las de soluciones importadas, atienden a un mercado más amplio de PyMEs que no están dispuestas a llevar a cabo cambios radicales de sus procesos sino algunas mejoras adaptativas. A su vez, dada la magnitud de recursos para actualización tecnológica con la que cuentan las PyMEs, suelen recurrir a dispositivos estandarizados que integren en soluciones de bajo costo.

Las empresas de *IoT* ofrecen soluciones de sensorización, recopilación, sistematización y presentación de información para la toma de decisiones. En general, se orientan hacia un producto. Así, no suelen ofrecer servicios integrales de automatización sino soluciones parciales o fraccionarias sobre dominios tecnológicos específicos. Sus productos pueden integrarse en soluciones más amplias.

Las empresas de *electrónica* local están muy cerca de las empresas de IoT pero, a diferencia de estas, no tienen una oferta de dispositivos orientados a un uso específico, sino una muy amplia gama de dispositivos con potencial de integrarse en soluciones diversas. Muchas veces se dedican al diseño del hardware cuya fabricación tercerizan en proveedores locales o globales. En algunos casos, de baja escala, pueden tener producción propia, pero el reducido mercado local atenta contra las posibilidades de hacerlo competitivamente. Estas empresas tienen el potencial de ofrecer dispositivos simples a menores precios que las soluciones flexibles e integrables extranjeras, pero su debilidad radica en la necesidad de recurrir a integradores para la comercialización de sus productos, que pueden mostrar -ellos o sus clientes- preferencia por los productos importados.

Las empresas de *software* se caracterizan por ofertar soluciones 100% digitales, desde servicios en la nube hasta integración de sistemas y la aplicación de nuevas tecnologías a problemas industriales, como el modelaje de procesos, “gemelos digitales”, entre otros. El lugar central que ocupa el sector en el sistema tecnológico global y nacional de I4.0 se debe a que incluso las ramas tecnológicas que recaen sobre dispositivos materiales requieren de software para su funcionamiento.

3.1. Comparación entre casos

La oferta de I4.0 doméstica presenta una estructura heterogénea que permite diferentes criterios de clasificación, incluso a la luz de la caracterización precedente basada en su especialización productiva. A continuación, se exponen tres criterios⁷ posibles para avanzar en su clasificación agregada de acuerdo a su sector de origen, estrategia tecnológica o posibilidad de generar encadenamientos.

En primer lugar, se distingue si se trata de una empresa *start-up* con una especialización de origen en I4.0 o si son empresas ya establecidas en el mercado que se diversifican hacia I4.0 desde actividades con bases de conocimiento relacionadas (software, automatización, microelectrónica, telecomunicaciones). En el Cuadro 3 se presentan sintéticamente sus diferencias⁸.

Cuadro 3. Tipo de empresas locales según sector de origen

	Start-ups y nuevas empresas	Diversificados para incluir productos y servicios I4.0
Industria original	Industria 4.0	Industrias vinculadas que generan las competencias básicas para la industria 4.0
Mirada o foco del negocio / estrategia	Nacen como empresas globales Prevalece un foco sobre los mercados globales. Ya sea porque dependen de Google, Amazon y Microsoft en tanto proveedores de infraestructura digital y servicios en la nube, como porque buscan clientes, instalan oficinas y demandan financiamiento a nivel internacional.	Nacen como empresas nacionales y luego, en algunos casos, comenzaron a exportar u operar en el exterior. Salvo que sean sus clientes quienes abren oportunidades afuera de Argentina, son empresas que se enfocan en sus clientes históricos, conocidas en la industria y que establecen relaciones de largo plazo con sus clientes.
Integración en cadenas de valor	Predomina la integración con gigantes digitales (Google, Amazon, etc.).	Predomina la integración con multinacionales de la I4.0 (Siemens, Schneider, etc.).
Dificultades	Recursos Humanos, financiamiento (propio), dificultades vinculadas a ser una empresa integrada a la economía digital global y/o con clientes en el mundo, pero basada en Argentina	Recursos Humanos, problemas específicos de las industrias para las que proveen soluciones

Fuente: elaboración propia sobre base de entrevistas realizadas.

⁷ Sin dudas es posible pensar en otras clasificaciones, por ejemplo, en relación con su principal fuente de aprendizaje.

⁸ Cabe aclarar que los cuadros de esta sección son una síntesis de no solo lo que las empresas hacen actualmente sino también de los planes o proyectos futuros.

En relación al Cuadro 3, las *start-ups* nacieron, con una mirada global, como empresas que ofrecen soluciones comprendidas dentro de las tecnologías de I4.0. De allí que buscan clientes, instalan oficinas y demandan financiamiento a nivel internacional, de modo que crecer a partir del mercado interno no es su principal estrategia de negocio. En ocasiones son las propias empresas multinacionales las que les acercan oportunidades de negocio en otros países, usualmente de la región.

En cambio, las empresas ya establecidas que se diversifican hacia I4.0 provienen de otros sectores (industria de bienes de capital, montaje o ingeniería industrial) que contribuyen a la base de conocimiento de la I4.0, como se observó en el análisis de la red global de tecnologías y aplicaciones y son caminos frecuentes de diversificación productiva.

En ambos casos, las empresas locales ocupan posiciones subordinadas en la cadena de valor. En el caso de las empresas que nacen para dar una oferta de I4.0 la vinculación es muy estrecha con las empresas digitales globales. En el caso del conjunto de empresas cuya oferta se apalanca sobre competencias previas suelen tener una doble dependencia. Por un lado, sus clientes pertenecen mayormente a la industria manufacturera, con fuerte foco sobre industria automotriz, autopartistas y otras ramas metalmeccánicas las cuales son, por lo general, empresas multinacionales o grandes empresas de capital nacional. Por el otro, sus proveedores de equipamiento (como Siemens, Schneider Electric, Kuka, etc.) le imponen condiciones que van desde requisitos de calidad y capacitaciones hasta convenios de exclusividad. Su articulación estrecha con estos proveedores globales de hardware o maquinaria las conduce a desarrollar alianzas estratégicas de representación oficial de marcas globales, distribución exclusiva, y servicios de instalación, mantenimiento y reparación, facilitando el acceso de tecnologías propiedad de grandes marcas en contextos productivos específicos. Estas relaciones enfrentan cierta competencia con soluciones alternativas, por ejemplo, de hardware de origen chino con mayor trabajo adaptativo local y con menores precios para el usuario final.

Un segundo criterio de clasificación se vincula a su estrategia tecnológica (Cuadro 4). Las empresas que basan su estrategia en la adopción y adaptación de tecnología se inclinan a la provisión de servicios, que adopta en la mayoría de los casos la forma de servicios de integración de equipamiento original. Otros, orientados a la fabricación de componentes y equipos, sostienen la importancia de combinar su producto con una oferta de servicios de integración, lo que le permite sostener su posición en el mercado y colocar su producción. Como hemos dicho, los desarrollos adaptativos pueden combinarse con productos autóctonos, como el caso de una de las empresas entrevistadas que ofrece junto con el servicio de montaje industrial su plataforma de productos de I4.0.

Cuadro 4. Tipo de empresas locales según estrategia tecnológica

	Adaptación	Desarrollo Propio
Balance producto / servicio	Servicios: de ingeniería, integración, desarrollo de software a medida, etc. En algunos casos combinan productos propios.	Productos propios de adaptación flexible. Requieren servicios de instalación y monitoreo, pero se montan sobre un producto o plataforma
Dificultades	Necesidad de financiamiento para el cliente. Dificultades para el escalado.	Necesidad de financiamiento para escalar la solución propia, para la comercialización y producción.

Fuente: elaboración propia sobre base de entrevistas realizadas.

Dado que las empresas globales tienen productos estandarizados, las adaptaciones específicas para la manufactura en Argentina cuyos usuarios son altamente heterogéneos son ofrecidas por las empresas integradoras.

Sin embargo, también existen empresas con productos propios. Se trata en términos generales de empresas de electrónica y de IoT, que son los segmentos de especialización de menores costos de entrada para la producción de hardware. La producción y fabricación de ese hardware consiste, no obstante, en el ensamblaje de dispositivos de diseño propio con componentes importados de uso genérico (impresión de placas, sensores, actuadores y chips) que generalmente combinan con una plataforma de software propia. En estos casos, las empresas tienen una solución escalable que combinan con servicios de integración.

En el caso de servicios de adaptación, el escalado encuentra un límite en la heterogeneidad productiva y en el tiempo insumido en la provisión de cada servicio. Cada proyecto será esencialmente diferente del resto y la empresa solo podrá apalancarse sobre aprendizajes logrados en proyectos previos. En el caso de empresas con desarrollos autóctonos, la posibilidad de escalado es mayor, pero también lo es el grado de competencia que enfrentan de parte de productos y dispositivos importados. Estas empresas enfrentan especialmente la dificultad para diferenciarse sin recaer en servicios de adaptación idiosincráticos.

Por último, el tercer criterio de clasificación es el tipo de clientes, a saber, si tiene la potencialidad de generar encadenamientos con PyMEs locales o si su foco de negocios está orientado hacia grandes empresas de capital nacional o extranjero, lo que ofrece, por un lado, diferentes oportunidades de aprendizaje y, por el otro, diferenciales impactos sobre el entramado productivo local (Cuadro 5).

Cuadro 5. Tipo de empresas locales según el tipo de clientes y la posibilidad de generar encadenamientos con PyMEs

	Altos encadenamientos en pymes	Bajo potencial de encadenamiento con pymes
Dificultades	Problemas de información sobre el alcance de la tecnología, problemas de financiamiento para la adopción	Problemas de bajos encadenamientos y dependencia tecnológica. RRHH

Fuente: elaboración propia sobre base de entrevistas realizadas.

Esta distinción trae aparejado un conjunto de decisiones tecnológicas, que se derivan de la capacidad financiera de las primeras frente a las segundas y conllevan a que muchas aplicaciones, particularmente aquellas de origen importando, no puedan ser ofertadas en el segmento de las pequeñas empresas. Del mismo modo, los niveles de competencias de las grandes empresas conducen a una estrecha colaboración entre clientes y proveedores que no siempre será visible en el caso de las PyMEs, donde predomina una estrategia de transferencia tecnológica y capacitación. En este sentido, podemos marcar que las oportunidades de aprendizaje para las empresas proveedoras viene de la mano de las demandas de grandes usuarios, y su rol de difusor y divulgador se cumple en su acercamiento a pequeñas empresas.

4. Lineamientos para el diseño de una política para potenciar la oferta local y la difusión de industria 4.0

Los lineamientos que planteamos a continuación hacen foco en la heterogeneidad de actores recién presentado y en soluciones disponibles tanto por el lado de la oferta y como por el lado de la demanda.

En el Diagrama 2 estilizamos las tres áreas generales sobre las que podrían emprenderse acciones para la promoción y la difusión de la industria 4.0: en primer lugar, acciones orientadas a transformaciones a **nivel organizacional** que favorezcan la adopción de nuevas tecnologías en función del grado de competencias y capacidades y de las especificidades productivas de las empresas, es decir, operar sobre el nivel micro. En segundo lugar, a **nivel institucional y estructural**, se apunta a la construcción del marco normativo y de infraestructura que promuevan la difusión de estas tecnologías, en un contexto macroeconómico favorable (crecimiento económico, estabilidad de precios y cambiaria), es decir, operar sobre el nivel macro. Y, por último, a **nivel del sistema tecnológico**, definido como el conjunto de tecnologías y organizaciones y sus interrelaciones, implica acciones para su desarrollo incluyendo el crecimiento de una oferta local con atención a la heterogeneidad estructural y a los procesos de aprendizaje y construcción de capacidades.

Diagrama 2. Áreas de intervención de la política pública



Fuente: Elaboración propia.

En lo que sigue, nos concentramos en este último eje, a saber, en las políticas públicas destinadas a resolver problemas del sistema tecnológico, que constituye nuestro objeto de estudio. De manera complementaria aparecen otras políticas necesarias -no exclusivas del sector- como la provisión de los llamados bienes públicos y bienes club necesarios como infraestructura para el despliegue de la I4.0 (infraestructura digital), regulaciones diversas en los mercados creados por las nuevas tecnologías y avances en la legislación sobre ciberseguridad.

Hacia adelante, se presentan dos subsecciones. Primero, sintetizamos tres grandes ejes que debe reconocer la política pública dirigida al sector, surgidos a partir de la literatura especializada y de las entrevistas realizadas: 1) el tamaño de las empresas con oferta para la industria 4.0, 2) la segmentación de esta oferta y 3) la provisión (o no) de servicios y soluciones escalables. Estas tres dimensiones son exploradas por la potencialidad que ofrecen para la reconstrucción de un sistema tecnológico nacional en torno a la I4.0, con empresas de capital nacional que mantengan vinculaciones con empresas extranjeras para el acceso a las nuevas tecnologías pero que promuevan una adopción adaptativa a las necesidades del entramado productivo doméstico, y, fundamentalmente, que logren aprendizajes sistémicos y el escalado de soluciones particulares.

En segundo lugar, nos concentramos en proponer un conjunto acotado de políticas que consideramos más urgentes en relación con las problemáticas observadas, los comentarios recabados en informantes clave y empresarios y los objetivos planteados.

4.1. Ejes centrales para considerar en el diseño

En primer lugar, las empresas locales de soluciones de I4.0 son mayormente pequeñas o medianas. Ello provoca que las empresas se encuentran especializadas en alguno de los

subsegmentos comentados en la Sección 3. Esta característica se refuerza por la existencia de ciertas tecnologías en manos de multinacionales -en robótica, servicios en la nube, etc.-, con las que no se puede competir y que son integradas por las empresas locales en su oferta. En este sentido, no parece existir en Argentina un conjunto de empresas que pueda concentrar individualmente la provisión completa del conjunto de soluciones necesarias para la implementación del paquete tecnológico de la I4.0.

En consecuencia, por un lado, frente al desconocimiento por parte de empresas potencialmente usuarias de las soluciones existentes y su potencialidad, difícilmente las empresas proveedoras puedan financiar ferias, tutoriales o visitas por su cuenta (aunque algunas efectivamente lo hacen). Por otro lado, su conexión con empresas en general pequeñas -ambas sin capacidades financieras- limita, como se ha mencionado, la posibilidad de llevar a cabo los proyectos.

En segundo lugar, se vislumbran dos grandes “mercados de soluciones de la I4.0” para las empresas del sector manufacturero -que seguramente se reproducen en otros sectores productivos- que operan en Argentina. Por un lado, existe un mercado de oferta de empresas locales PyMEs para empresas locales PyMEs donde los componentes importados se restringen a equipamiento (sensores, robots, etc) siendo el resto del proyecto desarrollado localmente y donde han surgido también soluciones locales competitivas (vinculados a la sustitución de sensores, el desarrollo de plataformas propias, etc.). Este mercado se encuentra hoy muy restringido por problemas de financiamiento, sensibilización y conocimiento⁹.

Por el otro, también se vislumbra un mercado de soluciones globales -adquirido a empresas globales o a empresas con representación- para empresas grandes donde esos problemas no son tan acuciantes y pueden eventualmente resolverse de manera privada.

Esta diferenciación es indispensable para diseñar los posibles instrumentos de política ya que implica una muy amplia variedad de proyectos de adopción tanto en términos de tiempo, de costo, de componentes importados o nacionales, como en el mix del presupuesto entre mano de obra y equipamiento¹⁰. Así, por ejemplo, en las entrevistas se han mencionado proyectos de 15 días de duración que trataban simplemente de la instalación y puesta en marcha de equipamiento ya adquirido, y otros con duración de hasta 18 meses o más para el diseño de una celda de producción cuyo proyecto implica primero el rediseño de la pieza y continúa luego con la capacitación del personal de la firma adoptante. También son muy disímiles los montos y tiempos para la adopción de diversos segmentos como por ejemplo IoT (de bajo costo y tiempo de instalación) respecto a la automatización industrial (de elevado costo y largos plazos).

En tercer lugar, es importante distinguir entre las proveedoras de soluciones de la I4.0 cuyos esquemas de negocios se basan en soluciones escalables de aquellas que se basan en proyectos. Entre las primeras, la propia naturaleza de su producto requiere pensar instrumentos para financiar el propio desarrollo (sea maquinaria, sensores, plataformas,

⁹ En las entrevistas también surgió la necesidad de desarrollar políticas que amplíen las capacidades de los trabajadores y gerentes en las empresas adoptantes ya que muchas veces no cuentan con las capacidades mínimas para operar estas tecnologías y aprovecharlas de manera completa.

¹⁰ A tal punto esa diferenciación es relevante que inclusive se presenta dentro del rubro “equipamiento” donde las empresas más grandes suelen trabajar -por acuerdos internacionales de sus casas matrices o nuevamente para no “arriesgar”- con soluciones de empresas de primera línea (estadounidenses, europeas o japonesas) dejando de lado el equipamiento de origen chino cuyo costo es sustancialmente menor. En cambio, las empresas medianas que adoptan tecnología aceptan tales equipamientos.

etc.). En cuanto a los proyectos, su principal necesidad es el crecimiento y la estabilidad de la demanda que enfrentan de manera de poder ampliar su tamaño y capacidades.

Considerando estos tres de diseño, en el Cuadro 6 se propone una tipología de los diferentes segmentos de oferta y demanda donde se presentan los problemas más acuciantes para el desarrollo de esa relación.

Cuadro 6. Foco de política en función de tipos de empresas oferentes y demandantes

Demanda / Oferta	Start-ups y nuevas empresas	Diversificadas desde otros sectores	Multinacionales
Pymes industriales	Financiamiento Sensibilización Competencias en usuarias	Financiamiento Sensibilización Competencias en usuarias	—
Pymes en cadenas de valor	Compra de tecnología nacional Financiamiento	Compra de tecnología nacional Financiamiento	Financiamiento condicionado a desarrollos locales
Grandes empresas (nacionales y multinacionales)	—	Marco institucional/estructural	Marco institucional/estructural

En primer lugar, el Cuadro 6 muestra dos casilleros coloreados en gris que son aquellos que vinculan a las empresas proveedoras locales con grandes empresas y su inversa empresas multinacionales de soluciones que venden a PyMEs industriales locales. Las empresas grandes no compran soluciones de empresas pequeñas locales por cuestiones de riesgo y compromisos asumidos con proveedores globales o con casas matrices y, en el segundo caso, debido a cuestiones de costo y necesidades de adaptación.

En segundo lugar, se presentan tres casilleros amarillos los cuales describen relaciones existentes y relevantes pero que difícilmente puedan constituirse en objeto de una política de desarrollo de la oferta de I4.0 ya que, debido a la escala de las empresas vinculadas generalmente cuentan con financiamiento, capacidades y conocimientos propios. Asimismo, el costo de esos proyectos, cifrado en cientos de miles de dólares para una línea de producción automatizada, claramente excede las posibilidades financieras del Estado para tener un rol relevante. En estos términos, el foco debería restringirse a construir el marco regulatorio y macroeconómico para potenciar esas relaciones.

Finalmente, consideramos que la política debe concentrarse en las cuatro celdas en verde. Aquí se encuentran las vinculaciones entre empresas locales proveedoras de soluciones de la industria 4.0 y el entramado PyME industrial. Como primer punto, es claro que al contar con empresas locales de oferta de soluciones 4.0 en la generalidad de los subsectores la financiación del proceso de adopción acelerado es plenamente posible. Ello permitiría avanzar en reducir las brechas de productividad y competitividad al mismo tiempo que se desarrolla el sector local de soluciones dada la relativa desconexión existente entre estos adoptantes y las multinacionales proveedoras.

El financiamiento debería destinarse tanto a las etapas previas de adopción de soluciones de I4.0 como ser la contratación de consultorías sobre la transformación digital de la empresa tanto como a la realización de esos proyectos. En el primer caso, la creación de una red pública de consultores con formación en ingenierías o financiar su contratación a privados con capacidades comprobadas son alternativas posibles. En el segundo, el principal mecanismo sería la política de créditos. En ambos deben considerarse la amplísima heterogeneidad de los proyectos en tiempo, costo y capacitación requeridos y la modularidad que permite la tecnología.

Adicionalmente, existe un problema de sensibilización sobre las tecnologías, su necesidad e impacto. Es clave avanzar en este sentido -como intentan algunas políticas actualmente vigentes- para ampliar los potenciales demandantes de estas tecnologías. Aquí también es necesario referir a los rasgos culturales de los empresarios PyME, rasgo muchas veces planteado como problemático en la literatura y en las entrevistas a informantes. Ahora bien, en las entrevistas a empresarios surgió frecuentemente que con el recambio generacional en la dirección de las empresas se busca avanzar con estas tecnologías. Pero, finalmente, estos proyectos se frustran por falta de financiamiento -ya mencionado- o por falta de perspectivas de crecimiento de la adoptante en el marco de la volatilidad de la economía argentina. Para abordar esta problemática se puede considerar la realización de ferias itinerantes, la difusión de experiencias donde se hayan implementado estas políticas ya sea con la creación de contenidos para la divulgación para redes sociales (mostrando imágenes del antes y después del proceso, con mención a costos del proyecto, requerimientos y resultados) o la organización de visitas a plantas productivas a través de algunas empresas grandes o cámaras empresarias. Nuevamente aquí la cooperación público-privada es central para lograr llegar a todas las empresas objetivo. Además de ser un componente central en la aceleración de la adopción, este componente es el menos costoso de todos los ejes necesarios.

Adicionalmente, es importante considerar que los procesos de adopción a veces se interrumpen o no brindan los resultados esperados por falta de capacidades de la propia empresa adoptante (falta de departamentos de ingeniería o departamentos de mantenimiento muy débiles que no están en condiciones de conocer las propias necesidades de actualización o cambio tecnológico). Aunque ciertamente la capacitación de trabajadores en estas tecnologías es siempre importante, no se han marcado grandes problemas de las empresas proveedoras para encontrar perfiles buscados -recurriendo a escuelas técnicas y con capacitaciones en la misma empresa-. En cambio, en las empresas adoptantes se observa que estas competencias están ausentes. Esta problemática, sumamente relevante y compleja de resolver, podría encararse a través de los centros de formación profesional -en temáticas como programación y mecatrónica-, vinculados a los sindicatos o cámaras, así como

potenciando con financiamiento a las instituciones y becas para estudiantes a las carreras terciarias y universitarias vinculadas.

Ahora bien, la situación de las PyMEs demandantes vinculadas a cadena de valor internacional es un poco diferente ya que por sus relaciones comerciales (con clientes y proveedores) suelen conocer bastante bien las tecnologías disponibles. En efecto, en muchos casos, las han adoptado parcialmente como condición de inserción en esas cadenas. Aquí la política de financiamiento es relevante, pero debe tener un componente enfocado a potenciar la compra de soluciones nacionales dado que si la adopción se da impulsada por empresas multinacionales de la que dependen puede tener similares miedos a “arriesgar” con soluciones locales. Claramente en estos casilleros, la política tiene similares instrumentos que, en los anteriores, pero es necesario incluir en las reglamentaciones participaciones mínimas para proveedores locales, principalmente en relación al diseño e implementación de los proyectos.

4.2. Prioridades de política para la provisión doméstica de soluciones

A modo de conclusión, nuestro estudio sugiere tres ejes prioritarios para la política pública en relación a la provisión doméstica de soluciones de la I4.0. El primer ordenador de la política industrial debería ser la urgencia. ¿Qué organizaciones requieren más urgentemente adoptar estas tecnologías y no tienen forma de hacerlo de manera privada? Aquí la necesidad de priorizar el financiamiento hacia el entramado PyME, particularmente el que no se encuentra vinculado a cadenas de valor, es claro. De acuerdo con los recursos disponibles, se podría segmentar por sector en función del riesgo de la competencia internacional que enfrentan. Ahora bien, más allá del efecto potencial sobre los adoptantes, esta política es absolutamente central para el desarrollo del sector proveedor de soluciones de la industria 4.0. Si no se amplía la demanda de soluciones, no se vislumbran perspectivas de crecimiento.

Asimismo, entre las soluciones de I4.0 consideramos que, por costo y facilidad de adopción, la prioridad debe vincularse al *IoT*¹¹. La adopción de sensores puede realizarse sin mayores inversiones -es de los segmentos más económicos de las tecnologías 4.0- y son adaptables a los procesos actuales de las PyMEs. A partir de allí, la recopilación y análisis de información -aún sin grandes sofisticaciones- puede redundar en mejora de procesos y costos. También puede servir en la sensibilización sobre el impacto de estas tecnologías y operar como vía de entrada a la adopción de tecnologías más costosas y complejas del paradigma 4.0. En este subsector los recursos disponibles en el Estado son suficientes para proveer financiamiento amplio para su adopción.

El segundo eje, orientado al desarrollo directo de los proveedores, tiene que ver con identificar a los productores de soluciones escalables y contribuir con financiamiento para acelerar su desarrollo.

Por último, el tercer eje, apunta a la búsqueda de reducción de costos de la adopción, lo cual es importante dadas las capacidades financieras limitadas que genera el sesgo de tamaño tanto de proveedores locales como adoptantes priorizados. Aquí surgen algunas

¹¹ En línea, ver el siguiente documento del The World Economic Forum (WEF) en colaboración con C4IR Brazil.
<https://www.weforum.org/impact/iot-for-brazil/>

posibilidades en paralelo. Por un lado, debería considerarse la realización de convenios con cámaras y gobiernos provinciales para ofrecer en tandas trabajos para diferentes empresas con similares demandas de manera de reducir los problemas de flujos de fondo de las empresas proveedoras -muy especializadas en trabajos por proyecto-. Nuevamente aquí es posible que la duración y costo de proyectos de automatización industrial impidan su realización, mientras que el subsector de IoT presenta las mejores condiciones al ser proyectos cortos, económicos y los sensores y plataformas de manejo de datos más adaptables a diversos contextos. Por el otro, debería promocionarse la utilización de soluciones con software libre, proveedores locales o de segunda línea a nivel mundial -a través de certificaciones, garantía de repuestos o realización de cursos de formación- dado su menor costo.

5. Bibliografía

- Albrieu, R., Basco, A. I., Brest Lopez, C., de Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M., & Vienni, G. (2019). *Travesía 4.0: Hacia la transformación industrial argentina* (IDB-TN-1672; Nota Técnica). BID.
- Andreoni, A., Chang, H.-J., & Labrunie, M. (2021). *Natura Non Facit Saltus: Challenges and Opportunities for Digital Industrialisation Across Developing Countries*. *The European Journal of Development Research*, 33(2), 330–370. <https://doi.org/10.1057/s41287-020-00355-z>
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0001229>
- Bonekamp, L., & Sure, M. (2015). *Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organisation*. *Undefined*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Consequences-of-Industry-4.0-on-Human-Labour-and-Bonekamp-Sure/79c21635cee1aec94bc5ca44be369bb129556256>
- Bresnahan, T. (2010). Chapter 18—General Purpose Technologies. In B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2, pp. 761–791). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02002-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02002-2)
- Brixner, C., Isaak, P., Mochi, S., Ozono, M., Suárez, D., & Yoguel, G. (2020). Back to the future. Is industry 4.0 a new tecno-organizational paradigm? Implications for Latin American countries. *Economics of Innovation and New Technology*, 29(7), 705–719. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719642>
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), 93–118. <https://doi.org/10.1007/BF01224915>
- Casalet, M. (2018). *La digitalización industrial: Un camino hacia la gobernanza colaborativa*. *Estudios de casos*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/44266>
- Casalet, M., & Stezano, F. (2020). Risks and opportunities for the progress of digitalization in Mexico. *Economics of Innovation and New Technology*, 29(7), 689–704. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719643>
- Chang, H.-J., & Andreoni, A. (2020). Industrial Policy in the 21st Century. *Development and Change*, 51(2), 324–351. <https://doi.org/10.1111/dech.12570>

- Ciffolilli, A., & Muscio, A. (2018). Industry 4.0: National and regional comparative advantages in key enabling technologies. *European Planning Studies*, 26(12), 2323–2343. <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1529145>
- Cretini, I., Delfini, M., Ouadrana, A., Cretini, I., Delfini, M., & Ouadrana, A. (2021). Determinantes de la autonomía local en la gestión del trabajo en empresas multinacionales. El caso de las subsidiarias argentinas. *Ensayos de Economía*, 31(58), 109–133. <https://doi.org/10.15446/ede.v31n58.88667>
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147–162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)
- Ergas, H. (1986). *Does Technology Policy Matter?* (SSRN Scholarly Paper ID 1428246). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1428246>
- Fernández Franco, S., Graña, Juan M., Rikap, Cecilia, & Robert, Verónica. (2022). *Industria 4.0 como sistema tecnológico: Los desafíos de la política pública* (No. 37; Documentos de Argentina Productiva 2030). Ministerio de Producción. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/37_-_industria_4.0.pdf
- Freeman, C. (1995). Innovation and Growth. In *Chapters*. Edward Elgar Publishing. https://ideas.repec.org/h/elg/eechap/143_7.html
- Lundvall, B.-Å. (2016). *The Learning Economy and the Economics of Hope*. Anthem Press. https://doi.org/10.26530/OAPEN_626406
- Motta, J., Morero, H., & Ascúa, R. (2019). *Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45033>
- Perez. (2010). *Technological revolutions and techno-economic paradigms* | *Cambridge Journal of Economics* | *Oxford Academic*. <https://academic.oup.com/cje/article-abstract/34/1/185/1699623>
- Rosenberg, N. (1974). Science, Invention and Economic Growth. *The Economic Journal*, 84(333), 90–108. <https://doi.org/10.2307/2230485>
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown.
- UNCTAD. (2021). *Digital Economy Report 2021*. https://unctad.org/system/files/official-document/der2021_en.pdf
- Vázquez, D., Robert, V., & Cretini, I. (2022). Evolución de la base de conocimiento en el sector de dispositivos médicos a nivel mundial. In *Nuevas configuraciones territoriales y paradigmas tecno-económicos en América Latina*. Ediciones Z.
- Vogel-Heuser, B., & Hess, D. (2016). Guest editorial Industry 4.0—prerequisites and visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(2), 411–413.
- Winter, S. G., & Nelson, R. R. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change* (SSRN Scholarly Paper ID 1496211). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=1496211>