Documento N°

37

Industria 4.0 como sistema tecnológico: los desafíos de la política pública

Sebastián Fernández Franco, Juan M. Graña, Cecilia Rikap y Verónica Robert

Noviembre 2022

Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Industria
y Desarrollo Productivo

ARGENTINA
PRODUCTIVA
2030

Autoridades

Presidente de la Nación

Dr. Alberto Fernández

Vicepresidenta de la Nación

Dra. Cristina Fernández de Kirchner

Jefe de Gabinete de Ministros

Dr. Juan Luis Manzur

Ministro de Economía

Dr. Sergio Tomás Massa

Secretario de Industria y Desarrollo Productivo

Dr. José Ignacio de Mendiguren

Coordinador del Plan Argentina Productiva 2030

Dr. Daniel Schteingart

Índice

1. Introducción 4

1.1. Surgimiento del concepto "industria 4.0" 8

1.2. Una definición en construcción 10

1.3. ¿Una nueva revolución tecnológica? 12

1.4. Empleo e industria 4.0 13

1.5. La industria 4.0 en países periféricos 15

1.6. Las tecnologías inteligentes y el empleo regional 16

1.7. El caso de Argentina 16

1.8. Comentario final 18

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 19

2.1. Construcción de la red, fuente de información y metodología 21

3. Identificación y caracterización de la oferta de industria 4.0 argentina 29

3.1. Entrevistas a informantes clave 29

3.2. Identificación de empresas, fuentes de información y construcción de base de datos 33

3.3. Red de industrias y tecnologías local 35

3.4. Selección de empresas para el estudio y metodología cualitativos (dimensiones claves de análisis) 38

3.5. Presentación de los estudios de caso 39

3.6. Síntesis de los estudios de caso: hacia una tipología de actores. 50

4. Lineamientos para el diseño de una política para potenciar la oferta local y la difusión de industria 4.0 60

4.1. Ejes centrales para considerar en el diseño de políticas para el sector 61

4.2. Prioridades de política para la provisión doméstica de soluciones 66

5. Conclusiones 68

Anexo 1 69

Anexo 2. Guía de entrevista a las empresas 73

Referencias 75

1. Introducción

Es imposible pensar un proyecto de desarrollo para Argentina sin al mismo tiempo abordar el problema del rezago tecnológico de la industria manufacturera en el país. Rezago que, a la luz de la velocidad del cambio tecnológico, de no mediar políticas públicas se ensanchará.

A lo largo de 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 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 el tiempo (Schwab, 2017).

Diversos autores han mostrado que las nuevas tecnologías digitales constituyen las *key enabling technologies* (KET) (Andreoni *et al.*, 2021; Chang y Andreoni, 2020; Ciffolilli y Muscio, 2018) del actual paradigma tecno-productivo (Dosi, 1982; Pérez, 2010). La información y los datos emergen como el recurso clave, con potencial de transformar y mejorar procesos y generar nuevos productos y servicios, a partir de la recombinación de conocimientos científicos y tecnológicos y la exploración de nuevos ámbitos de aplicación.

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 sus siglas en inglés) (Bresnahan, 2010). Por ejemplo, pueden verse en los dispositivos médico, en articulación con otras tecnologías (como la radiología o ecografía); en las industrias extractivas y en agricultura (agtech), sectores en los que pueden explotar su potencial para el modelaje y el diseño de maquinaria de precisión; y en otros ámbitos que requieren la solución de problemas complejos, desde la aviación comercial hasta la logística o la gestión de grandes cadenas de aprovisionamiento. Constituyen, asimismo, una herramienta clave para la investigación científica y tecnológica, donde ha dado lugar a nuevas disciplinas como la bioinformática, la inteligencia artificial o la ciencia de datos. Por último, pero no menos importante, 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 posible prever que este proceso conduzca a incrementos de la productividad y a la emergencia de nuevos productos y servicios asociados a la producción.

La transversalidad, la convergencia con otras tecnologías y la capacidad de potenciar los procesos existentes permiten caracterizar al conjunto de nuevas tecnologías como un nuevo y disruptivo sistema tecnológico (Carlsson y Stankiewicz, 1991) que está revolucionando las formas de organización y producción.

En el pasado, las KET y las GPT han mostrado ser motores de la productividad sistémica, no solo 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 en diferentes campos tiene el potencial de mejorar la eficiencia productiva de cada uno (Freeman, 1985; Rosenberg, 1974; Wright, 1999).

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.

En Argentina, con una estructura productiva heterogénea y concentrada, la permeabilidad de estas tecnologías se está dando de forma paulatina y atendiendo de diferente manera a los distintos sectores productivos. La existencia de una estructura industrial con un desarrollo moderado (atrasada en relación con aquella de los países desarrollados, pero con una posición relativamente buena *vis à vis* 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.*, 2021; Casalet, 2018; Casalet y Stezano, 2020).

Análisis anteriores (Albrieu *et al.*, 2019; Motta *et al.*, 2019) han indagado sobre el grado de adopción de esta nueva ola de TIC. Este trabajo se propone analizar cuáles son las empresas proveedores de nuevas tecnologías, cómo se articulan con la demanda (es decir la estructura productiva local, con sus rasgos idiosincráticos, sus ventajas y debilidades) y cómo esta articulación marcará el ritmo y el sendero de la transición hacia la industria 4.0.

Existen algunas consideraciones o puntos de partida relevantes a la hora de emprender esta investigación. En primer lugar, por la posición subordinada que ocupa Argentina en el escenario internacional en términos tecnológicos, productivos y económicos, el modo más convencional de acceso a las nuevas tecnologías se da a partir de la integración de productos y servicios importados en procesos productivos idiosincráticos. Esto implica que la adopción tecnológica conlleva frecuentemente el uso de soluciones que requieren adaptación a condiciones locales, pero que recae fuertemente sobre un sistema tecnológico mayor, de alcance global, sobre el que se teje la trama local. En segundo lugar, a pesar de eso, y posiblemente a diferencia de otros países de menor desarrollo relativo, Argentina cuenta con un sistema científico tecnológico que se ha desarrollado y consolidado a lo largo de los años, a partir de un conjunto de premisas sociales y culturales que lo sustentan. Esto constituye una sólida base para la construcción de competencias requeridas para una adopción adaptativa temprana y, a la vez, abre la posibilidad de tener desarrollos autóctonos que, en determinados nichos, tienen el potencial de competir

contra la oferta importada. Al mismo tiempo, y en el contexto de *outsourcing* de determinados procesos de trabajo (programación y servicios de ingeniería), también implica una competencia por los recursos humanos de alta formación. En tercer lugar, existe una elevada heterogeneidad dentro de la estructura productiva argentina, lo que se manifiesta en nichos altamente competitivos a nivel global, internacionalizados e integrados en cadenas globales de valor, segmentos de competitividad intermedia abocados al mercado interno con incipiente desarrollo exportador que operan lejos de la frontera tecnológica pero que logran identificar y explotar ciertas ventajas competitivas, y por último segmentos rezagados en términos tecnológicos y competitivos. Sobre cada uno de estos segmentos, la injerencia de las nuevas tecnologías será desigual, así como el alcance que logren los diferentes tipos de actores oferentes de soluciones tecnológicas.

Estas tres premisas, que atraviesan este documento, muestran que la construcción de nuevos sistemas tecnológicos apalancados sobre el uso y la aplicación de estas nuevas tecnologías digitales en la industria corre el riesgo de ser fragmentario. Esta cuestión podría impedir explotar en todo su alcance las economías de aprendizaje y los procesos de retroalimentación positiva entre búsquedas de nuevas aplicaciones, incidencia sobre el proceso productivo, introducción de mejoras incrementales continuas con impacto sobre la productividad y generalización de estos resultados a otros ámbitos potenciales de actuación (Rosenberg, 1974). Este ha sido el camino transitado en los procesos de industrialización exitosos alcanzados durante los siglos XIX y XX (Freeman, 1988).

En este contexto, el objetivo principal del presente trabajo es estudiar a las empresas con oferta de productos y servicios de la industria 4.0. Para ello se indagó especialmente en la composición de la oferta local de productos y servicios de la industria 4.0 y la forma en que esta oferta articula con usuarios locales. Se analizan e identifican diferentes tipos de actores y segmentos de demanda compatibles con la caracterización de heterogeneidad estructural de la estructura productiva argentina. Se analiza el grado de complementación de soluciones importadas con soluciones nacionales y la importancia de los procesos adaptativos locales. Se expone también hasta qué punto es posible construir una industria de productos y servicios basados 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. Se hace foco en los procesos de retroalimentación en la construcción de este sistema tecnológico, partiendo de una concepción evolucionista que pone de relieve las interacciones intersectoriales de conocimiento y las economías dinámicas de aprendizaje (Freeman, 1995; Lundvall, 2016; Winter y Nelson, 1982).

El objetivo último del documento es brindar lineamientos generales y específicos de acción en el terreno de las políticas de difusión (Ergas, 1986), es decir aquellas que promueven la capacidad de la estructura industrial como un todo de adaptarse al cambio tecnológico. Esto implica el desarrollo de una red institucional y de infraestructura pública para la construcción de competencias, así como de un amplio abanico de sectores productivos y tecnologías estratégicas que favorezcan el aprendizaje tecnológico. El propósito aquí es 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 (Cantner y Pyka, 2001; Chiang, 1991).

Existen dos elementos adicionales que afectan el objeto de investigación del presente estudio, pero que quedan fuera de alcance: en primer lugar, las recurrentes crisis de restricción externa y los desequilibrios macroeconómicos, que tienen una incidencia clave sobre el precio y la posibilidad acceso a tecnología importada así como sobre las decisiones de inversión de las empresas (entre ellas las inversiones para actualización tecnológica). La brecha entre los diferentes tipos de cambio también incide fuertemente sobre los salarios de los trabajadores calificados que son parte central del proceso de cambio tecnológico buscado en tanto éstos pueden proveer servicios *offshore*. Estas cuestiones, si bien se hicieron presentes en el transcurso de la investigación a partir de comentarios de los entrevistados, no serán abordadas de forma directa. En segundo lugar, el proceso de difusión y adaptación de nuevas tecnologías ha mostrado tener una incidencia determinante sobre los procesos de trabajo que están sufriendo importantes mutaciones, como la desaparición de determinadas tareas y puestos, la obsolescencia de algunas competencias específicas, la emergencia de nuevas, los requerimientos de nuevas habilidades a desplegarse tanto en puestos preexistentes como en los que son completamente nuevos. Estos impactos cualitativos sobre el mundo del trabajo traen aparejados potenciales impactos cuantitativos, sobre los que todavía hay incertidumbre. Al mismo tiempo, generan demandas de capacitación y formación en los diferentes niveles (desde operarios hasta mandos medios y superiores) y en las diferentes áreas (desde producción, hasta gestión de calidad, servicio posventa, ingeniería y administración). Estos efectos, así como los desafíos asociados tampoco son abordados en forma directa en la investigación.

Por último, es pertinente un comentario particular en referencia al alcance sectorial de la investigación. Si bien estas tecnologías tienen una potencial aplicación en todas las grandes ramas de actividad (sector primario, manufacturero y de servicios), en esta investigación nos focalizamos en identificar la oferta local de productos y servicios de la industria 4.0 al sector manufacturero. El recorte se estableció en conjunto con el Ministerio de Desarrollo Productivo y se justifica en la urgencia por mejorar las condiciones productivas de sector manufacturero argentino que ya presenta una importante brecha de productividad con los países centrales y que, de cara a estas transformaciones, existe una alta probabilidad de que dicha brecha se amplíe sin las políticas adecuadas.

Esta investigación se desarrolló entre junio y noviembre de 2021, y contó con una etapa de exploración documental, una etapa de investigación cuantitativa y una etapa de investigación cualitativa. La etapa cuantitativa, a su vez, estuvo desdoblada en dos subetapas. Una de ellas estuvo dedicada a la caracterización de sistema tecnológico de la industria 4.0 a nivel global, y la otra buscó hacer una caracterización similar para el sistema tecnológico a nivel nacional. Para ello, se realizó una búsqueda, identificación y clasificación de empresas locales con oferta de productos y servicios para la industria 4.0 y se sistematizó la información recolectada para la caracterización del sistema local. La investigación cualitativa permitió explorar la

institucionalidad del sistema tecnológico impulsada desde los actores públicos (oficinas de gobierno) y privados (organizaciones empresarias) a través de entrevistas a informantes clave y a empresas. Se exploraron en profundidad algunas experiencias paradigmáticas de empresas con oferta de servicios y productos de industria 4.0, cuáles son sus principales fuentes de construcción de capacidades, tipo de mercado al que atienden, grado de articulación con productos y servicios importados y principales obstáculos enfrentados

El resto del documento se compone de las siguientes secciones. La sección 1 sintetiza la exploración documental; aquí se ofrece una definición de la industria 4.0, se analizan las oportunidades y desafíos para el caso argentino, y se discute el rol de la política pública en la promoción de su uso, difusión y construcción de competencias locales.

En la segunda sección, se define al sector de industria 4.0, las tecnologías involucradas y los tipos de aplicación. Sobre la base de un análisis de redes con información sobre diversificación productiva de unas 10.000 empresas oferentes de industria 4.0 a nivel global, se construye una red de tecnologías y áreas de aplicación que constituye una aproximación empírico-analítica al sistema tecnológico de la oferta de productos y servicios de la industria 4.0 en el mundo.

En la sección 3 se vuelcan los resultados de la investigación cuantitativa y cualitativa que corresponde con el caso argentino. Esto implica, en primer lugar, explicar la metodología de trabajo implementada para la búsqueda, identificación y clasificación de empresas proveedoras de soluciones para la industria 4.0 (unas 160 empresas), y para el armado de la red que aproxima al sistema de tecnología y aplicaciones de la industria 4.0 nacional. En segundo lugar, se analizan los resultados hallados en esa red (en sí misma y en comparación con la red global) y se identifican los campos de conocimientos relevantes dentro del sistema local, que permiten la selección de los casos de estudio. En tercer lugar, se presenta la metodología implementada para el análisis cualitativo y los resultados que surgen de los casos estudiados.

Por último, en la sección 4 se vuelcan las recomendaciones de política que emergen del análisis presentado, realizando una diferenciación entre premisas básicas y lineamientos generales para la intervención y potenciales acciones específicas que busquen atender a segmentos particulares.

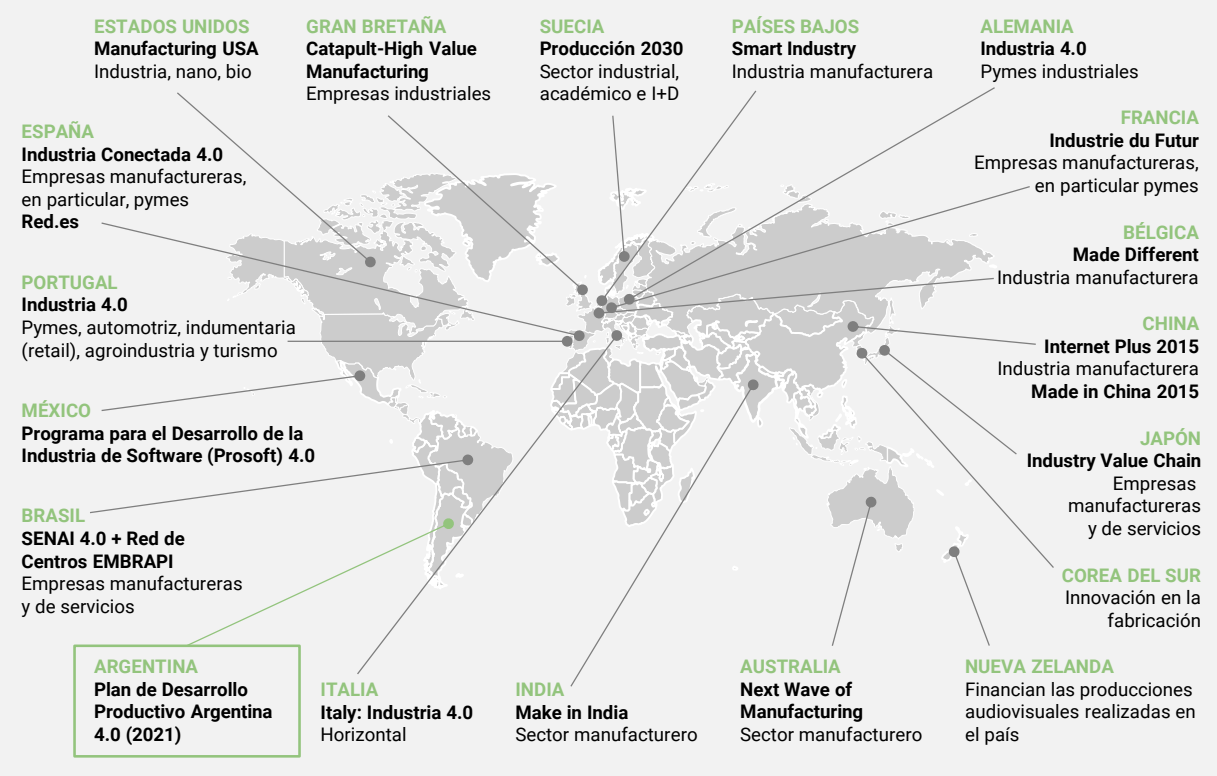
1.1. Surgimiento del concepto “industria 4.0”

Aunque crecientemente popular, el término "industria 4.0" es relativamente nuevo. Apareció por primera vez en 2011 en la feria de Hannover y ha estado en el centro de los informes gubernamentales y de consultoría en los años siguientes (Vogel-Heuser y Hess, 2016), mientras que numerosos países centraron su agenda de política industrial en torno a la industria 4.0.

De este modo, el concepto está fuertemente vinculado a la política industrial, e incluso a la disputa hegemónica en materia de liderazgo productivo y tecnológico. A través de programas nacionales de transformación digital, los diferentes países han buscado fortalecer sus sistemas tecnológicos nacionales, no perder competitividad ni ceder liderazgo manufacturero *vis à vis*

otros países centrales o emergentes. Dentro de este último club de países se destaca el caso de China, que está transitando fuertes procesos de *catching-up* en una serie de sectores estratégicos que se entrelazan fuertemente con las tecnologías de la industria 4.0 (telecomunicaciones, robótica, inteligencia artificial y grandes datos).

MAPA 1. INICIATIVAS NACIONALES DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA LA INDUSTRIA POR PAÍS



Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo (2021).

Como se ve en el mapa 1, una amplia gama de países ha presentado estrategias de industria 4.0 en la última década. En Alemania, el término cobró relevancia política en 2013 con el desarrollo de plataformas específicas, la introducción de incentivos para fomentar las sinergias entre las federaciones profesionales, el desarrollo de normas y estándares de interoperabilidad y la participación de una red de institutos especializados (los institutos Fraunhofer) que realizan investigación aplicada (Kohler y Weisz, 2016) y promueven la difusión tecnológica. Luego de Alemania, tanto los países centrales como China tomaron el liderazgo en el lanzamiento de programas en la materia: Reino Unido (Catapult UK) en 2012, Estados Unidos (Manufacturing USA) en 2014, China (Made in China) en 2015, Francia (Industrie du futur) en 2016 e Italia (Impresa 4.0) en 2017.

Por su parte, países periféricos también han propuestos similares programas que promuevan el uso de estas nuevas tecnologías para no perder competitividad ni ampliar las brechas

tecnológicas y productivas preexistentes que los separan de los países centrales. Por ejemplo, Brasil ha implementado dos programas denominados SENAI 4.0 y Programa Prioritario en IoT/Manufactura 4.0, con diferentes financiamientos que promueven la inversión en la adopción de estas tecnologías. En similar sentido, Argentina ha lanzado el Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0 en 2021.

No obstante, este grupo de países enfrenta desafíos propios vinculados a decisiones sobre orientarse exclusivamente a la difusión de estas tecnologías, o si debieran preocuparse también por la adaptación, o incluso promover algunos desarrollos autóctonos. También enfrentan desafíos asociados a las debilidades de competencias que presentan las empresas locales y la mano de obra, así como a los efectos de estas tecnologías sobre el empleo, en particular considerando las diferencias de costos salariales entre el centro y la periferia. Por último, también enfrentan el desafío de articular sistemas tecnológicos en estructuras productivas fragmentarias y heterogéneas, que requieren diferentes ritmos y formas idiosincráticas de adopción en función de las competencias y recursos específicos (como bienes de capital, infraestructura o financiamiento).

1.2. Una definición en construcción

La industria 4.0 es entendida 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 de 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 cibernéticos para la industria, a través de la convergencia de la información y la producción, así como la del servicio y la fabricación.

Las nuevas tecnologías de la industria 4.0 incluyen inteligencia artificial (al interior de la cual se destaca 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 (Vogel-Heuser y Hess, 2016) (cuadro 1).

CUADRO 1. TECNOLOGÍAS VINCULADAS A LA INDUSTRIA 4.0

Inteligencia artificial	Es normalmente definida como la capacidad de una máquina de realizar actividades cognitivas típicamente realizadas por el cerebro humano. Actualmente las aplicaciones para tareas simples están disponibles y se avanza sobre otras más complejas a través del *machine learning* y *big data*.
Internet de las cosas (IoT)	Refiere a una multiplicidad de dispositivos que recolectan datos y los transmiten por internet para su posterior procesamiento y análisis virtuales.

Continúa en la página siguiente.

CUADRO 1. TECNOLOGÍAS VINCULADAS A LA INDUSTRIA 4.0 (continuación)

Big data	Refiere a bases de datos cuyo tamaño o complejidad supera la capacidad de análisis bajo herramientas tradicionales, las cuales son procesadas por algoritmos de diseño en base a IA.
Blockchain	Refiere a las tecnologías que permiten registrar datos con marcas temporales inalterables siendo supervisadas de manera descentralizada
Impresión 3D	También conocida como manufactura aditiva, permite producir objetos desde un archivo digital.
Robótica	Son máquinas programables que realizan acciones e interactúan a través de sensores de manera autónoma o semiautónoma.
Realidad virtual / Gemelo digital	Permite la realización de simulaciones que ponen a prueba conceptos previo al desarrollo de prototipos. También se utilizan para la capacitación de trabajadores.

Fuente: elaboración propia con base en UNCTAD (2021) y Brixner (2020).

Si bien la literatura no alcanza una definición totalmente homogénea, ni tampoco parece surgir completamente a partir de los actores involucrados (por ejemplo, de las definiciones provistas en las entrevistas realizadas), la industria 4.0 puede considerarse 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 aceleradamente mediante internet de las cosas, (ii) enorme capacidad de almacenamiento y procesamiento de información estructurada y no estructurada, y (iii) aplicación de técnicas de inteligencia artificial para la automatización de procesos de decisión (Basco *et al.*, 2018; Bonekamp y Sure, 2015).

La dependencia de esas nuevas tecnologías de los grandes volúmenes de datos ha conducido a consolidar plataformas de prestación de bienes y servicios que se erigen como nuevos actores claves en la economía global, porque gestionan los activos claves del nuevo paradigma y su forma organizacional y su estrategia de negocios resultan funcionales a la explotación de estas tecnologías disruptivas.

La oferta de la industria 4.0 se construye en torno a este conjunto de GPT o KET asociadas a la transformación digital de la producción y los negocios, que prometen mejorar la eficiencia productiva (aumentos de productividad y reducción de costos) y diversificar la oferta de bienes y servicios. Las mejoras en eficiencia se derivan de un uso inteligente de recursos, que pueden ajustarse a condiciones variables sin intervención, y del aprendizaje autónomo de las máquinas, producto de la mayor información sobre los procesos productivos en sus diferentes etapas, todo lo cual permite avanzar en la automatización de tareas rutinizadas. Por otra parte, la diversificación productiva resulta especialmente de la servitización de la producción industrial, basada en el uso masivo de datos. Bajo este proceso se expande el mix de oferta de la empresa, a través de la provisión de servicios junto a la producción industrial (servicios predictivos de

control de fallas, producción flexible y a medida en series muy cortas, hasta el alquiler o leasing de bienes de capital y bienes de consumo durable) (Srnicek, 2017).

Dados los impactos diferenciales en cada sector industrial y la multiplicidad de tecnologías que implican, quizás el único consenso respecto de la industria 4.0 son las perspectivas de cambio radical y acelerado en la estructura de las ramas productivas, las cadenas de valor y las oportunidades y peligros que engendra. Como se verá más adelante, el acuerdo de los diferentes actores (empresarios y decisores de política) sobre estos últimos puntos es casi total, lo que deja las diferencias en materia de definición en el plano académico o formal.

1.3. ¿Una nueva revolución tecnológica?

En el plano académico existe un debate respecto de si estos cambios en la producción y en su organización han dado lugar a una cuarta etapa de la revolución industrial después de los telares y la máquina de vapor durante el siglo XVIII (1.0); la electricidad, el motor de combustión y la fábrica fordista a finales del siglo XIX y gran parte del siglo XX (2.0); y la revolución microelectrónica y automatización de los procesos de producción durante la última parte del siglo XX (3.0) (Castells, 1999; Frey y Osborne, 2013; Pérez, 2010). Pérez (2004: 32) define una revolución tecnológica como "un conjunto poderoso y evidente de tecnologías, productos e industrias nuevas y dinámicas, capaces de sacudir los cimientos de la economía e impulsar una ola de desarrollo a largo plazo". Según la autora, el concepto de revolución tecnológica implica nuevos procesos, productos e industrias; además de un paradigma tecno-económico que establece los parámetros bajo los cuales los empresarios, trabajadores, inversores y consumidores toman decisiones e interactúan socialmente. La trascendencia y potencialidad del cambio tecnológico radican en las profundas transformaciones que experimentan las sociedades a través de una serie de innovaciones tecnológicas entrelazadas en torno a un conjunto de tecnologías y recursos clave, junto con cambios en los procesos productivos que se manifiestan con incrementos en la productividad.

En línea con este desarrollo, la industria 4.0 no podría ser aún categorizada como una nueva revolución tecnológica ya que no representa un cambio radical respecto de aquella que se abrió con las TIC, sino más su convergencia e intensificación bajo nuevas lógicas (Brixner *et al.*, 2020; Dosi y Virgillito, 2019). Por lo tanto, sería una profundización –o nueva etapa– de la revolución tecnológica que se inició a finales de los años 60 y principios de los 70. No obstante, sí implicaría lo que diferentes autores han llamado un "cambio tecnológico exponencial" (Brynjolfsson *et al.*, 2018; Diamandis y Kotler, 2012; Tegmark, 2017) en la medida en que la velocidad del cambio tecnológico se acelera, y por lo tanto las implicancias de las mejoras actuales resultan muy superiores a aquellas que se observaban hace 30 años en el contexto de emergencia del actual paradigma tecno-productivo.

La literatura proveniente de la ingeniería y las ciencias de la gestión, así como documentos generados por consultoras internacionales, ofrecen en su mayoría una visión optimista, basada en las oportunidades que ofrecen estas nuevas técnicas, para repensar y transformar los

procesos de innovación y producción (Piyare *et al.*, 2017; Schwab, 2017). Algunos de estos trabajos se centran en evaluar el efecto de la industria 4.0 sobre la competencia y, para anticiparlos, proponen modelos abstractos de inteligencia artificial y *big data* (Bajari *et al.*, 2019; Farboodi *et al.*, 2019).

Dentro de la literatura económica, los procesos vinculados con el desarrollo y difusión de estas tecnologías han comenzado a ser analizados como dinamizadores de un proceso de reconfiguración de las estructuras industriales, profundizando la dinámica desindustrializadora de las economías occidentales y los roles en la división internacional del trabajo, con potenciales reconfiguraciones de las cadenas globales de valor (CGV), modalidades de acceso, flujos de información e interoperabilidad. Una mayor interdependencia puede crear barreras de entrada en términos de costos y de acceso a la tecnología y a los datos, con posibles efectos en la integración vertical y horizontal de los actores económicos, rediseñando las cadenas globales de valor y conduciendo a ganancias de productividad y distribución del ingreso diferenciadas (Carballa Smichowski *et al.*, 2021; Gereffi, 2014; Gereffi *et al.*, 2005; Ponte y Sturgeon, 2014).

En cambio, algunos estudios presentan una visión más crítica del proceso (Brynjolfsson *et al.*, 2018) alertando sobre sus potenciales efectos negativos en el empleo, la distribución del ingreso y las perspectivas de desarrollo.

1.4. Empleo e industria 4.0

Otro ámbito ineludible del debate sobre los impactos de estas tecnologías –al que se hace referencia brevemente dado que no es el objeto principal de esta investigación– es el empleo. Si el progreso tecnológico y la metamorfosis de las máquinas-herramienta han establecido los grandes patrones de las estructuras productivas y del empleo desde, al menos, la Revolución Industrial, la industria 4.0 implica un punto de inflexión en este proceso en el siglo XXI dado su potencial para sustituir trabajos tanto manuales como intelectuales. De hecho, en principio solo se consideraban susceptibles de robotización o informatización los trabajos que eran intensivos en tareas manuales rutinizadas ligadas al movimiento repetitivo del cuerpo y la destreza de los dedos. Sin embargo, debido a los recientes avances destacados en inteligencia artificial se amplió el alcance de lo que puede automatizarse (Brynjolfsson *et al.*, 2018; Frey y Osborne, 2013). En efecto, las tareas intelectuales rutinarias realizadas convencionalmente por trabajadores "de cuello blanco" (por ejemplo, liquidación de impuestos) están siendo crecientemente automatizadas –por la posibilidad técnica de traducirse en pequeños pasos que una máquina ejecutará (Autor, 2015)– a la luz de estos cambios.

No obstante, a partir de los avances contemporáneos en robótica –desde la sustitución del personal de hotelería, la realización de operaciones de neurocirugía, los taxis y los robots de cuidados– las máquinas que incorporan las nuevas tecnologías no solo replican y repiten las actividades humanas rutinizadas con una precisión inalcanzable para los humanos, ahorrando recursos y aumentando la productividad, sino también procesan y sistematizan una cantidad cada vez mayor de información a gran velocidad, pudiendo incursionar en la automatización de

tareas no rutinizadas, lo que al mismo tiempo amplifica crecientemente su capacidad (Frey y Osborne, 2013).

En este sentido, se ha generado un debate sobre las consecuencias del desarrollo de la industria 4.0 en la pérdida de puestos de trabajo –y el papel de las habilidades en su mitigación– (Amaral *et al.*, 2018). Una primera posición señala que las tecnologías que ahorran mano de obra inducirán una reducción de la demanda global de mano de obra: incluso si se crean nuevos puestos de trabajo, serán menores que los perdidos, lo que aumenta el desempleo (Srnicek y Williams, 2015). Otro conjunto de argumentos enfatiza los efectos compensación según los cuales, incluso si algunos empleos terminan siendo eliminados, el surgimiento nuevos empleos puede compensarlos (Autor, 2015; Mokyr *et al.*, 2015). Una advertencia a este respecto es que aun si se crean esos nuevos puestos de trabajo, es probable que la población no pueda mantenerse al día con las habilidades necesarias, por lo que una parte de esta podría no tener las habilidades demandadas en los nuevos empleos, lo que daría lugar al menos transitoriamente a un alto crecimiento del desempleo tecnológico.

Ahora bien, incluso sosteniendo la hipótesis optimista, podría darse el caso de que los nuevos puestos de trabajo efectivamente compensen los perdidos, pero esto puede ocurrir con sesgos de diferente tipo (sociales, geográficos, generacionales, raciales, de género) por lo cual las consecuencias positivas o negativas no se pueden analizar simplemente analizarse a nivel agregado porque pueden acarrear consecuencias distributivas severas. En la escala geográfica, el conocimiento como factor productivo, la conectividad, la digitalización y la automatización como procesos apoyados en la inteligencia artificial pueden representar ventajas para los países centrales –particularmente dado el abismal liderazgo económico y tecnológico de Estados Unidos– y desventajas para los países periféricos, considerando la estructura productiva de cada uno de ellos. Mientras que los países centrales han enfocado desde los años 70 su estructura productiva en la economía del conocimiento –y sus corporaciones lideran las CGV–, muchos países periféricos están especializados en sectores laborales poco calificados lo que genera desafíos particulares que comentaremos más adelante (Gereffi, 2014; Gereffi *et al.*, 2016; Milberg y Winkler, 2013; Sandoval, 2012 y 2015).

De todos modos, los países centrales también se enfrentan a desafíos. La idea de que la tecnología era exclusivamente complementaria con los trabajadores de alta calificación (Acemoglu, 2002; Susskind y Susskind, 2015) ya no se condice de manera completa con la realidad. La evidencia sugiere que el efecto de las nuevas tecnologías es la polarización de los mercados laborales: crecen los empleos no rutinarios ubicados en ambos extremos de la distribución salarial a costa de los rutinarios ubicados en el centro (Autor *et al.*, 2003; Goos *et al.*, 2009; Piva y Vivarelli, 2018). Esto ha supuesto un aumento de la desigualdad salarial que se profundizaría de verificarse una reducción del empleo y los costos laborales, como lo demuestra el proceso de globalización del siglo XX. A nivel global, ha implicado, como fenómeno general, una creciente concentración de ingresos en una élite internacional y una mayor desigualdad (Pérez, 2004; Piketty, 2015) entre ciudadanos de un mismo país y entre países.

1.5. La industria 4.0 en países periféricos

La nueva organización de la producción basada en la industria 4.0 ha sido ampliamente estudiada en las economías desarrolladas. Sin embargo, los efectos para los países y empresas que no se encuentran liderando sus sectores y cadenas han sido menos analizados. En este sentido, una pregunta relevante es qué rol pueden cumplir –y cuáles están cumpliendo– los países de la región latinoamericana en la nueva configuración emergente.

En primer lugar, se puede destacar que la literatura económica que ha evaluado cuál es el estado de la transición de las economías regionales hacia entornos que privilegien las nuevas tecnologías es reducida y se ha concentrado en el estudio de la adopción de las nuevas tecnologías (Ferraz, *et al.*, 2021; Albrieu *et al.*, 2019; Motta *et al.*, 2019; CEPAL, 2019) o bien en la identificación de casos particulares de oferta de industria 4.0 local (Yoguel *et al.*, 2021), dejando vacante un análisis integral de esta. Un hecho saliente que es compartido por la mayoría de los estudios es que los países latinoamericanos han tenido serias limitaciones a la hora de implementar el modelo de la industria 4.0, así como lo tuvieron al momento de la 3.0. En efecto, la mayoría de estos trabajos suele enfocarse en cuál es el grado de uso de estas tecnologías en el entramado industrial latinoamericano en general, observando que las principales empresas solo han adoptado algunas de las tecnologías disruptivas de esta etapa, en algunas de sus áreas, pero no de manera integral. De esta manera, dentro de la industria e incluso dentro de una misma empresa conviven modos de producción propios de la industria 3.0 con la 4.0 o incluso con la 2.0.

En particular, según Albrieu *et al.* (2019) –que comparan los resultados de sendas encuestas de adopción en la industria manufacturera argentina y brasileña– la utilización de las tecnologías de la industria 4.0 es de apenas el 2% en Argentina y el 1,2% en Brasil. Sin embargo, al indagar sobre etapas tecnológicas anteriores –vinculadas a tecnologías de la industria 3.0– Brasil se encuentra mejor posicionado y, por ende, con mayores chances de acelerar su adopción.

Asimismo, de acuerdo con el índice de competitividad global 4.0 del World Economic Forum (WEF), la economía local ocupa la posición 83, mientras que la brasileña ocupa la 71 y la mexicana la 48. En esta misma clasificación, Alemania y Estados Unidos ocupan el séptimo y el segundo lugar respectivamente.

En un estudio realizado por el WEF y el Banco Interamericano de Desarrollo (Albrieu *et al.*, 2019) también se advierte sobre el lugar menor que la región le ha dado, hasta la fecha, a estas nuevas tecnologías. Sin embargo, sus conclusiones son algo más optimistas respecto del margen que tiene de crecimiento toda la región en las denominadas cadenas de oferta 4.0. En Argentina, la adopción de nuevas tecnologías sería media-alta en el sector automotriz, media en el de electrodomésticos y en procesamiento de comida, y baja en textil.

En este sentido, el estadio actual de estas tecnologías en la región reproduce el rezago y heterogeneidad de anteriores adopciones de paquetes tecnológicos lo que en sí mismo es un problema mayúsculo porque amplía los problemas de competitividad.

1.6. Las tecnologías inteligentes y el empleo regional

A la hora de evaluar cuál es el impacto de estas tecnologías sobre los mercados de trabajo regionales, se suele señalar que, de no realizarse algún ajuste en relación con la (dificultad de) adopción tecnológica, porciones importantes de la población trabajadora se enfrentan a una probabilidad alta de que sus puestos sean automatizados en tanto ocupaciones de baja o media calificación y rutinarios. Así, para Argentina, Uruguay y Paraguay, por ejemplo, esta cifra alcanzaría a alrededor de un 60% de los empleos (World Bank Group, 2016).

Con preocupación sobre el desempleo tecnológico, algunas investigaciones se concentraron en estudiar cómo se modificaron algunas características de los ocupados en los últimos años. En este sentido, Apella y Zunino (2017) describen una tendencia compartida por Argentina y Uruguay, países en los que basan su estudio, y las economías desarrolladas: se verifica un aumento del nivel educativo de la población trabajadora –principalmente crece la participación de individuos con estudios secundarios completos– y mayor peso de las tareas cognitivas (con caída de la intensidad de las tareas manuales) al interior de cada puesto. La diferencia central está en que estarían creciendo de manera conjunta las ocupaciones intensivas en tareas cognitivas tanto no rutinarias como rutinarias, las cuales son digitalizables con más facilidad. Dentro de este último subgrupo se incluye a empleados de ventas y administrativos, entre otros.

En este sentido, además de un rezago en la adopción, lo que se observa es que la aceleración en los ritmos de incorporación tecnológica, de no considerar otros factores, tendría efectos laborales negativos mayores a los esperables en el mundo desarrollado.

1.7. El caso de Argentina

Si focalizamos la mirada en nuestro país, existen aún pocos trabajos que analizan la difusión de estas tecnologías. Motta *et al.* (2019) estudian los casos de 15 mipymes usuarias e implementadoras de tecnologías 4.0 situadas en Córdoba capital y Rafaela. En ellas se observa un grado de adopción parcial, lo que refuerza la idea de que su introducción de manera integral puede no ser rentable para algunos segmentos de empresas manufactureras argentinas. Dentro del grupo de tecnologías de la industria 4.0 la que más ha aparecido entre los casos de estudio de los autores es internet de las cosas (IoT) y sensores sobre la maquinaria. Aquí pueden encontrarse programas que sistematizan ciertos datos de la producción en tiempo real, que realicen control y monitoreo productivos, que vinculen los pedidos con las necesidades materiales y laborales, entre otros. A nivel del impacto que la introducción de estas tecnologías tiene sobre el empleo, los autores no encuentran que se haya producido desempleo tecnológico, aunque sí cambios en las tareas que realizaba cada trabajador, así como desplazamientos entre sectores de la empresa.

Para el caso de la provincia de Buenos Aires, donde la densidad de empresas manufactureras es mayor, Herrera Bartis y Neira (2020) también señalan un grado de utilización bajo de estas nuevas tecnologías. En particular, los autores señalan que, entre 2017 y 2019, menos de un cuarto de las pymes industriales de la provincia usaban IoT o sensores sea para automatización

a nivel de la planta o para control de las maquinarias. La gran mayoría de las empresas reconocen la importancia de las TIC, pero no comprenden la importancia –y futuros problemas– de no adoptar las tecnologías 4.0. En esta misma línea, si bien gran parte de las empresas destacan la digitalización a nivel comercial y de gestión de la organización, la mitad pierde de vista su rol en la mejora de la producción. El uso de software tampoco es algo difundido dentro de las empresas manufactureras de la provincia. Al respecto, los autores comentan que "en general, el empleo de software en las industrias bonaerenses se reduce a la implementación de sistemas enlatados para tareas de tipo administrativo-contables y, en menor medida, para la gestión de pedidos e inventarios. Sin embargo, aún este uso limitado exhibe una fuerte asimetría de acuerdo al tamaño de las firmas" (p. 99).

Por su parte, Mateo y Acosta (2020) destacan que si bien, desde 2008, los servicios de software e informáticos (SSI) de Argentina empiezan a crecer a un 10% interanual –aunque con una facturación por empleado menor a la media mundial–, la industria manufacturera constituye solamente un 5% de la demanda, lo que refuerza el vínculo incipiente y reducido entre este sector y el de la producción industrial. Al respecto, el Observatorio de la Cámara de la Industria Argentina del Software (CESSI) viene documentando una pérdida de importancia de la industria manufacturera argentina como destino de las ventas del sector de software y servicios informáticos, que pasó de representar el 11,3% de las ventas en 2012-2014 al 6,9% en 2014-2015, hasta llegar 5% desde el 2016 en adelante.[1] Esta pérdida de importancia está relacionada con el crecimiento de las exportaciones del sector, traccionado por otras empresas de software, bajo un modelo de *outsourcing* global de desarrollo de software. Moncaut, Baum y Robert (2021) argumentan que este modelo puede dificultar que el sector de software y servicios informáticos potencie las capacidades productivas locales vía la adopción adaptativa de nuevas tecnologías. En este informe se verá que puede obturar la posibilidad de desarrollo de un sistema tecnológico local apalancado en las interacciones sistémicas y aprendizajes cruzados intersectoriales.

Otra de las dimensiones que es importante analizar en relación con las capacidades de adopción de tecnología es la vinculación del sistema productivo con el sistema científico tecnológico dado su rol en la divulgación y difusión de las nuevas tecnologías. Carugati e Ibáñez (2020), basándose en información de la ENDEI II (2014-2016) para empresas manufactureras, señalan que dentro del conjunto de las firmas innovativas, entendidas como aquellas que invirtieron en actividades de innovación, solo un 25% se vinculaba con el sistema universitario, con disparidades entre firmas de diferente tamaño (las grandes muestran mayores vinculaciones).

De esta literatura se obtiene que los problemas que enfrenta una mayor adopción de las tecnologías 4.0 se pueden dividir en dos grupos: 1) aquellos de origen macroeconómico y 2) los sectoriales. Dentro del primer *set* de problemas se encuentran contextos económicos desfavorables para la adopción tecnológica en los procesos productivos debido a la inestabilidad macroeconómica y los costos laborales horarios reducidos *vis à vis* aquellos que tienen los países desarrollados. También aparece la cuestión de la dificultad de innovar y de

[1] A partir de informes extraídos del Observatorio.

cómo fomentar el proceso de aprendizaje tecnológico y productivo en un ambiente financiero que no habilita recursos para el desarrollo productivo de las empresas de menor tamaño.

Dentro del segundo grupo de problemas, puede encontrarse en primer lugar que el sector opera en escalas reducidas, lo que dificulta la posibilidad de competir en la economía digital. Esto se evidencia fundamentalmente a la hora de evaluar poner en producción tecnologías, por ejemplo, asociadas a la robótica, que resulta onerosa. En particular, las empresas operan con bajas escalas de producción o utilizar programas basados en inteligencia artificial, que requieren altos volúmenes de datos e información (Motta *et al.*, 2019). En segundo lugar, existe una extendida falta de conocimiento sobre las tecnologías disponibles, así como sobre sus ventajas y debilidades. A su vez, a pesar de que Argentina cuenta con un sector de informática de cierta dinámica reciente y con empresas extranjeras radicadas aquí, no ha logrado desarrollar soluciones adaptadas al entramado industrial.

1.8. Comentario final

A pesar de que existe un debate no resuelto en torno a si estas nuevas tecnologías constituyen o no una fractura con el anterior paradigma tecnológico basado en las TIC tradicionales (Brixner *et al.*, 2020), hoy queda de manifiesto que la industria 4.0 está ocupando un lugar central en las estrategias de desarrollo industrial de numerosos países (centrales y periféricos) (Chang y Andreoni, 2020). En este contexto, una adopción parcial y tardía como parece vislumbrarse de las tendencias actuales puede profundizar los rezagos tecnológicos, con impactos competitivos severos. Dado el impulso que están tomando estos procesos, así como la posición ya rezagada de nuestro país, la ventana de oportunidad para desarrollar políticas específicas no es muy extensa.

Dada la necesidad de desarrollar la industria nacional e impulsar la producción tecnológica de punta, estas problemáticas no pueden ser abordadas simplemente a través de la adopción de paquetes cerrados de tecnologías de grandes empresas extranjeras. No solo estas pueden no ser congruentes con las condiciones productivas locales de manera de que quede limitada su adopción –por escala, capacidades y/o costos–, desaprovechando su potencial, sino que su desarrollo local, dado el carácter transversal de las tecnologías, podría impulsar la competitividad en otros sectores. A su vez, la ausencia de desarrollo local redundaría en una pérdida de control de la información generada y profundizaría la presión sobre las cuentas externas por pago de servicios y rentas. Es decir, un mal diseño de tales políticas podría conducir a un escenario en el que, incluso con adopción acelerada, los problemas estructurales de la economía se profundizarían.

Estas reflexiones generales cobran centralidad al momento de evaluar, en el marco de la emergencia de la industria 4.0, el estado de la situación en Argentina, país en el ante los problemas productivos históricos se ha hecho una adopción muy parcial y defensiva de algunas tecnologías.

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

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. Desde una perspectiva de política pública, esto implica fortalecer los canales de difusión de la tecnología 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.

Como se vio en la sección anterior, gran parte de los trabajos académicos sobre industria 4.0 se dedican a describir el mapa de tecnologías y a analizar la forma en que están revolucionando el sistema de producción y distribución de bienes y servicios. También se analizan sus implicancias sobre otras esferas de la sociedad, tales como los sistemas de formación y construcción de competencias, la gestión pública, la organización urbana, la privacidad y los derechos individuales, sobre las finanzas, la moneda y otros activos digitales y sobre cambios en patrones culturales y de consumo derivado del crecimiento de nuevos bienes y servicios puramente informacionales. Estos trabajos señalan no solo la emergencia de estas "nuevas" tecnologías –aunque, de hecho, la mayoría de ellas no son nuevas (Brixner *et al.*, 2020)–, sino también cómo todas ellas han empezado recientemente a constituir un sistema tecnológico que sustenta el nuevo paradigma tecno productivo que emergió con las TIC.

Desde un marco conceptual basado en la literatura de sistemas sociotécnicos, Bijker *et al.* (2012) definen 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 forma 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.

Puede decirse que las tecnologías propias de la industria 4.0 eran componentes marginales del sistema en el momento de su emergencia que, como documentan Brixner *et al.* (2020), ocurrió a lo largo del siglo XX. La tecnología de inteligencia artificial, de los años 50, difícilmente tuviera

impactos sistémicos, por su baja imbricación con el resto de las tecnologías prevalecientes. Pero de la mano del desarrollo de los semiconductores y del crecimiento en la capacidad de procesamiento de los microprocesadores y su proliferación en una amplísima gama de dispositivos (desde computadoras personales, maquinaria y equipo, automóviles[2] y electrodomésticos de uso difundido) así como de la difusión de internet y por su medio la producción y recopilación de datos, se vuelve una tecnología de propósito general cuya utilidad empieza a ser explorada en diferentes ámbitos de aplicación. A su vez, cuanto más se utilizan estos algoritmos más se benefician de mejoras incrementales y más potente se vuelve su capacidad de resolver problemas, todo lo cual ocurre a una velocidad incomparable. Al mismo tiempo, al ocupar un lugar de mayor centralidad en la red se vuelve más imprescindible para el desarrollo de otras tecnologías vinculadas y mayor impacto tienen sus mejoras incrementales sobre el resto del sistema.

De acuerdo con Rosenberg (1974), las mejoras incrementales pueden ser más significativas que las innovaciones radicales cuando se entiende que las innovaciones no se presentan de forma aisladas sino como "racimos". Cuando las tecnologías están entrelazadas en una compleja red de artefactos y organizaciones, las innovaciones incrementales pueden generar efectos cascada que conduzcan a cambios estructurales. En este contexto, la política pública pasa a tener dos funciones centrales.

En primer lugar, la función de 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 suborganizaciones y artefactos). Esto lo puede hacer a partir de:

1. La generación de 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 tecnológico).[3]

2. El fortalecimiento de las organizaciones actuales (a través de subsidios a la innovación y a la incorporación de tecnología, especialmente cuando las organizaciones sean reacias a hacerlo).

3. La promoción de las vinculaciones entre componentes (con fomento a la difusión de tecnologías).

[2] Cabe mencionar, por ejemplo, los problemas por los que atraviesan los fabricantes de equipo original de la industria automotriz a lo largo y ancho del planeta por la escasez de microchips.

[3] Un actor clave dentro del conjunto de organizaciones asociadas al sistema tecnológico de la industria 4.0 son las plataformas globales que gestionan los activos críticos del nuevo paradigma, es decir, datos (crudos y procesados) e infraestructura digital. Estas son empresas privadas de alcance global que proveen una nueva capa de servicios de infraestructura (almacenamiento y procesamiento de información) que se entrelazan con infraestructuras previas que son actualizadas con las nuevas tecnologías (comunicación alámbrica e inalámbrica).

En segundo lugar, la política pública pasa a tener la función de 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. Esto es, no por operar sobre la estructura de la red, sino por aprovechar la estructura existente para amplificar los efectos de la política pública (aunque esto presupone claramente la existencia de esa estructura de red).

De acuerdo con Carlsson y 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.

2.1. Construcción de la red, fuente de información y metodología

En las secciones anteriores del presente informe se definió la industria 4.0 como un sistema tecnológico compuesto por un conjunto de tecnologías que la literatura identifica como claves del paradigma, y por las interacciones y combinaciones entre ellas y entre sus potenciales usos. En esta sección, se utiliza ese listado de tecnologías para identificar empresas con competencias en industria 4.0, que aplican estas tecnologías en los productos y servicios que ofrecen. Una vez identificadas estas empresas, con información relativa a sus capacidades y mercados en los que operan, analizamos cómo se compone el sistema tecnológico de la industria 4.0 a nivel internacional. Luego, en la siguiente sección, con un procedimiento análogo, se define la oferta local de productos y servicios basados en las tecnologías 4.0.

La base de información utilizada para la descripción del sistema tecnológico es Crunchbase (CB), que recopila información de empresas, especialmente tecnológicas, fusiones y adquisiciones y sus fuentes de financiamiento. Si bien la base CB ha sido desarrollada para proveer información a inversores y seguir su dinámica de financiamiento, está siendo crecientemente utilizada en investigaciones académicas. En este informe, siguiendo una metodología ya empleada en Vazquez *et al.* (2021) y Cretini *et al.* (2021) se utilizaron fundamentalmente dos campos de esta base: (i) la descripción completa de las actividades que realiza la empresa (denominada *full description*), que se trata de un párrafo que detalla el

negocio de la compañía, sus principales productos y servicios, mercados a los que atiende, y misión y visión de la empresa; y (ii) el campo relativo a las industrias en las que opera la compañía, clasificadas bajo la categoría elaborada por CB denominada *industries*. A cada empresa se le asignan entre tres y siete categorías de industrias. La industria en la que la empresa opera contiene información de la tecnología que domina y de las áreas de negocios o campos de estas tecnologías.

La selección de las empresas se realizó utilizando el campo *full description*, en el cual se rastrearon por palabras clave e industrias[4] empresas con dominio de las tecnologías de la industria 4.0. Las palabras fueron seleccionadas en un proceso iterativo de búsqueda y ampliación en función de un análisis semántico de las empresas detectadas en la búsqueda original. Adicionalmente, se incluyeron en la base las empresas adquiridas por las empresas ya detectadas como empresas con oferta de industria 4.0.

Como criterio de triangulación de los resultados obtenidos, se listaron 269 empresas líderes detectadas en publicaciones especializadas[5] (empresas *top vendors* de bienes y servicios asociados a la industria 4.0). Por último, se procedió a descartar empresas con menos de 10 ocupados o sin información en el campo de industrias, y registros duplicados.

La base de referencia contiene 10.578 empresas. Entre ellas, 269 son reconocidas por múltiples reportes industriales, 6.659 son las empresas detectadas por palabras clave y 3.560 son empresas adquiridas. Casi la mitad de estas empresas (4.583) son empresas que cotizan en bolsa: 3.560 porque son empresas adquiridas[6] y el resto (poco más de 1.000) porque hicieron una oferta pública de venta (IPO) exitosa. El resto de las empresas de la base son emprendimientos tecnológicos que se hallan en diferentes etapas de financiamiento. La base contiene tanto las empresas con salidas al mercado accionario o adquiridas como las que se mantuvieron privadas, porque tienen el potencial de marcar diferentes tendencias. Las

[4] El criterio de búsqueda combinó palabras clave con industrias. Se seleccionaron las empresas detectadas con las siguientes palabras clave: *SCADA, product lifecycle management, mixed-signal semiconductor, 3D printing solutions , CAD solutions control panels, industrial computer vision, Industrial Internet, industrial machines, Industrial Virtual Reality, low-volume manufacturing, low-volumen production, PLM, product life cycle management, radio frequency identification tags, RF Technologies, shop floor, system integrators, industrial autonomation, advance manufacturing, MES, Programmable Logic Controller, PLC, Manufacturing Execution System, RFDI y pertenecientes a las industrias: Software, Data and Analytics, Artificial Intelligence, Manufacturing, Science and Engineering, Information Technology* (con acrónimos y palabras relacionadas).

[5] La principal fuente es IoT Analytics Market Report complementada con las 30 empresas con mayor número de patentes (de acuerdo con Hannover Messe), principales empresas del sector según el informe de PWC sobre cuarta revolución industrial y el top 10 de emprendimientos con nuevas tecnologías disruptivas. Si bien en un comienzo se buscó construir un ranking de 250 empresas líderes, la diversidad de fuentes llevó a identificar un total de 269 *top vendors*.

[6] En total, las fusiones y adquisiciones de la base (que reportan precio de venta) asciende a USD 1.090.000 millones, concentrándose fuertemente después de 2015, con un promedio de USD 1.050 millones por transacción registrada.

empresas públicas son más consolidadas y capaces de hacer adquisiciones. Las empresas adquiridas pueden mostrar nuevos segmentos de negocios y competencias tecnológicas donde las empresas incumbentes pueden no tener capacidades y acceden a las mismas a través de las fusiones y adquisiciones. Y, por último, las que permanecen privadas se identifican con nuevos *startups* y potenciales nuevos rumbos tecnológicos y de mercado.

La mayor parte de las empresas son de origen estadounidense (poco más de 40%), una parte importante pertenecen a países europeos (cerca del 40%, con Alemania representando el 7%), y otros países relevantes son China, India, Israel y Canadá. Entre las empresas *top vendors*, 140 son de origen estadounidense, 23 son chinas, 15 alemanas y una decena de ellas japonesas (ver anexo 1).

La base también contiene información sobre patentes, verificando que a 1.870 empresas de la base se les han otorgado patentes. Las empresas de la base son propietarias de cerca de 1.200.000 patentes. Las *top vendors* por sí mismas explican casi un millón de patentes (cabe destacar que entre ellas están Siemens, IBM, Microsoft, Intel, Nvidia, Cisco, Samsung, LG, Honeywell, Bosch, Hitachi, Xiaomi, Rockwell Automation, Mitsubishi, Baidu entre otras). A las empresas adquiridas les fueron otorgadas cerca de 170.000 patentes. Entre ellas, quienes cuentan con mayor número de patentes son: Infineon Technologies adquirida por Intel, United Technologies adquirida por Raytheon y Xiam adquirida por Qualcomm. Las empresas con patentes están localizadas mayormente en los Estados Unidos, Alemania y Canadá, seguidas por el Reino Unido, Italia, Francia, Suiza, Japón y China.

Por último, en términos de "industrias", las más mencionadas son transversales, como software, manufactura, electrónica y hardware, y tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Podemos decir que estas "industrias" definen la pertenencia al sector, que se combinan con las tecnologías específicas para conformar el sistema tecnológico de la industria 4.0. Entre las tecnologías específicas destacan: ciber-seguridad, inteligencia artificial, analítica de datos, *big data* y *machine learning*; integración de sistemas y servicios de software como consultoría de software, *cloud computing*; las tecnologías de la impresión 3D y de visualización computacional (modelado 3D y realidad virtual); y las tecnologías asociadas a la producción industrial, como la ingeniería industrial y mecánica, la producción de equipamiento y bienes de capital, la manufactura industrial y la robótica. Estas tecnologías se entrelazan con áreas de aplicación como industria farmacéutica y biotecnológica, con el sector energético (ya sea en generación, como en distribución y gestión de redes), la industria automotriz, la producción manufacturera y la comercialización y logística. En total, la base contiene 269 industrias, de un total de cerca de 720 industrias clasificadas por CB.[7]

Para poder analizar cómo se entrelazan, combinan y complementan estas tecnologías y campos de aplicación, se utilizó una metodología de análisis de redes. Se construyó una red en la que dos industrias cualesquiera se hallan vinculadas si al menos 10 empresas muestran

[7] Cabe destacar que se descartaron industrias que afectan a 10 o menos empresas de la base, con el objetivo de no considerar casos de especializaciones atípicas.

competencias en estas dos industrias de forma simultánea (lo que la literatura de redes denomina redes de coocurrencia). El hecho de que un número creciente de empresas demuestren desarrollar dos actividades de forma conjunta revela un conjunto de capacidades comunes para el desarrollo de ambas (Hidalgo *et al.*, 2007). De este modo, las vinculaciones entre industrias pueden interpretarse como los canales de diversificación más frecuentes y pueden estar basados en bases de conocimiento comunes o convergentes.

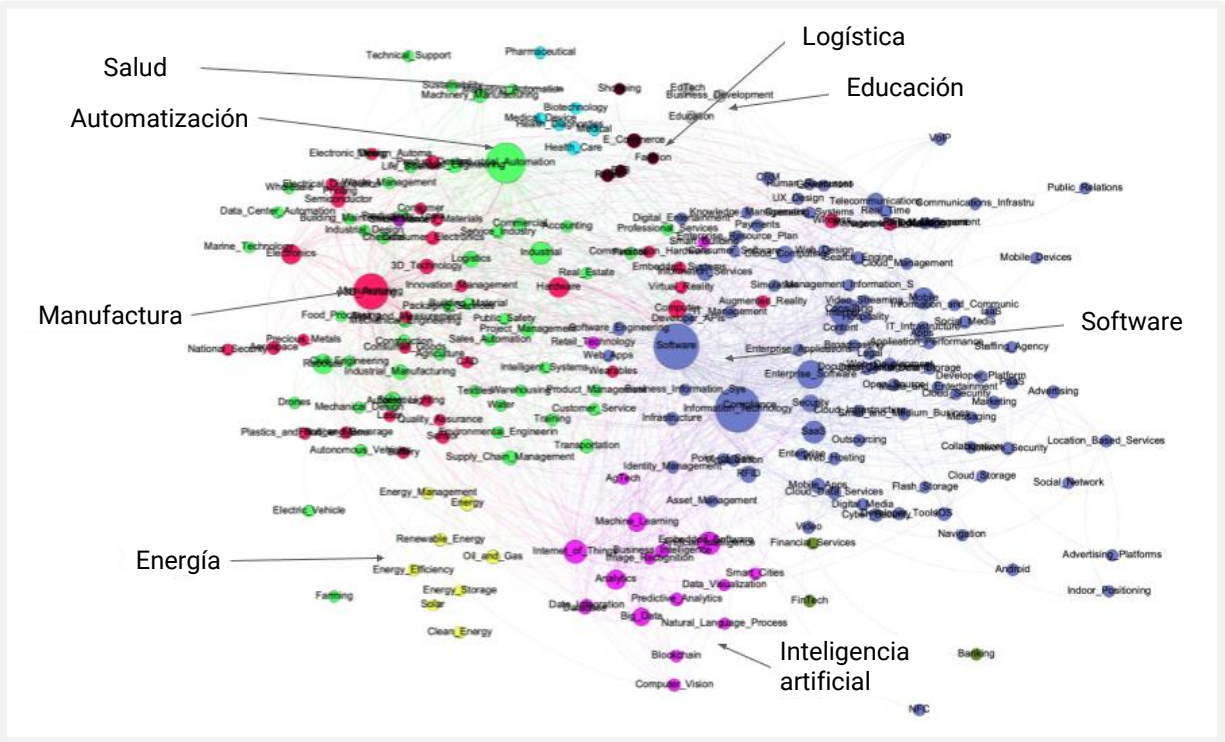
La red estimada es una red pesada, esto quiere decir que distingue (otorga diferente peso) a las vinculaciones de acuerdo con la cantidad de empresas que se desempeñen en forma conjunta en dos industrias cualesquiera. Esto permite establecer una diferencia en la intensidad de las vinculaciones entre industrias, que luego el algoritmo de visualización utilizado (ForceAtlas2, de Gephi) toma en consideración para ubicar los diferentes nodos en el espacio. De esta forma, los nodos (que en la red representan industrias) más cercanos muestran vinculaciones directas e indirectas más fuertes. Por último, por medio de una metodología de detección de comunidades (algoritmo de modularidad) es posible identificar conjuntos de industrias más fuertemente vinculadas entre sí y más distantes de otras (en la red esto se representa con diferentes colores). Las diferentes comunidades de nodos identificadas se pueden interpretar como diferentes campos de conocimiento dentro de la base de conocimiento sectorial.

En el gráfico 1 puede observarse la red de tecnologías y aplicaciones. Los nodos de la red son las 269 industrias en las que las más de 10.000 empresas analizadas tienen competencias. Como la clasificación de CB de industrias combina tecnologías y aplicaciones, el resultado puede verse como una aproximación empírica al sistema tecnológico de la industria 4.0 a escala internacional. Al prestar atención a las vinculaciones, la red permite observar caminos potenciales de diversificación productiva ya que 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.

Los campos identificados en el gráfico 1 refieren a subconjuntos de tecnologías e industrias que encuentran vinculaciones más fuertes entre sí. Esto permite identificar cuatro campos tecnológicos: automatización, manufactura, software e inteligencia artificial (este último involucra menos tecnologías que los otros dos); y 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, automotriz está dentro de automatización, con los nodos “autos eléctricos” y “vehículos autónomos” y otros que implican tecnologías relacionadas como drones y robots, mientras que 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 aquí se denomina inteligencia artificial (nodos en violeta) de hecho contiene a una serie amplia de tecnologías digitales emergentes y algunos campos de aplicación como agtech y cerca también se ubican nodos relativos a finanzas. La comunidad denominada inteligencia artificial muestra una alta cohesión con fuertes interrelaciones intragrupo, que se justifica en bases de conocimiento convergentes.

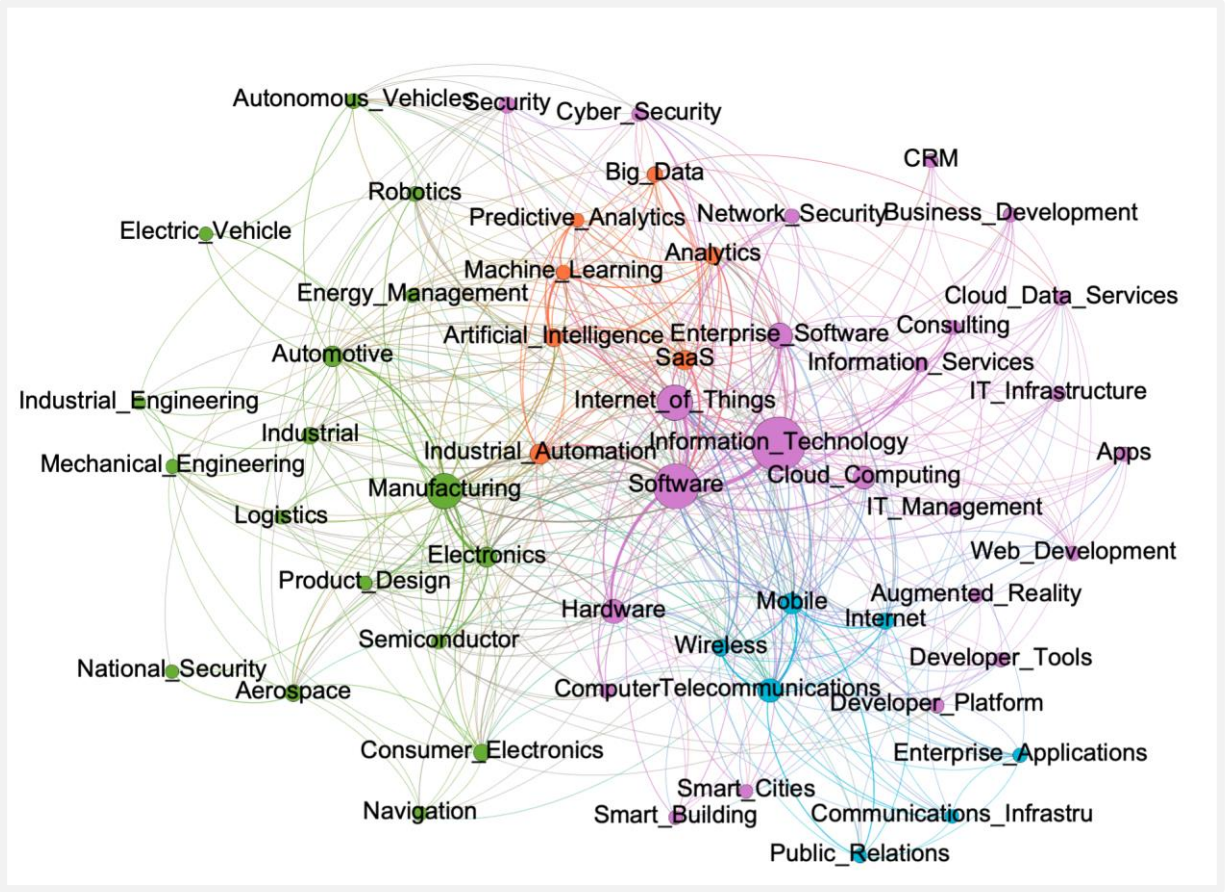
GRÁFICO 1. SISTEMA TECNOLÓGICO A NIVEL GLOBAL: TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES



Fuente: elaboración propia con base en información CB.

El gráfico 2 muestra la misma red pero estimada con la información de los 269 *top vendors* de industria 4.0. Lo que se observa es una red de mucha mayor cohesión, en donde los campos de conocimiento y aplicaciones identificados por el algoritmo de comunidades aparecen menos diferenciados y más imbricados, lo que muestra la importancia de la complementación entre tecnologías y aplicaciones dentro de este segmento de negocios. En particular, se ve que la comunidad asociada a las nuevas tecnologías (en el gráfico 2 coloreada de naranja) se encuentra fuertemente imbricada a los campos asociados a manufactura y software, y que estos tres son los campos de mayor preponderancia de la red.

GRÁFICO 2. SISTEMA TECNOLÓGICO DE LAS EMPRESAS *TOP VENDORS*

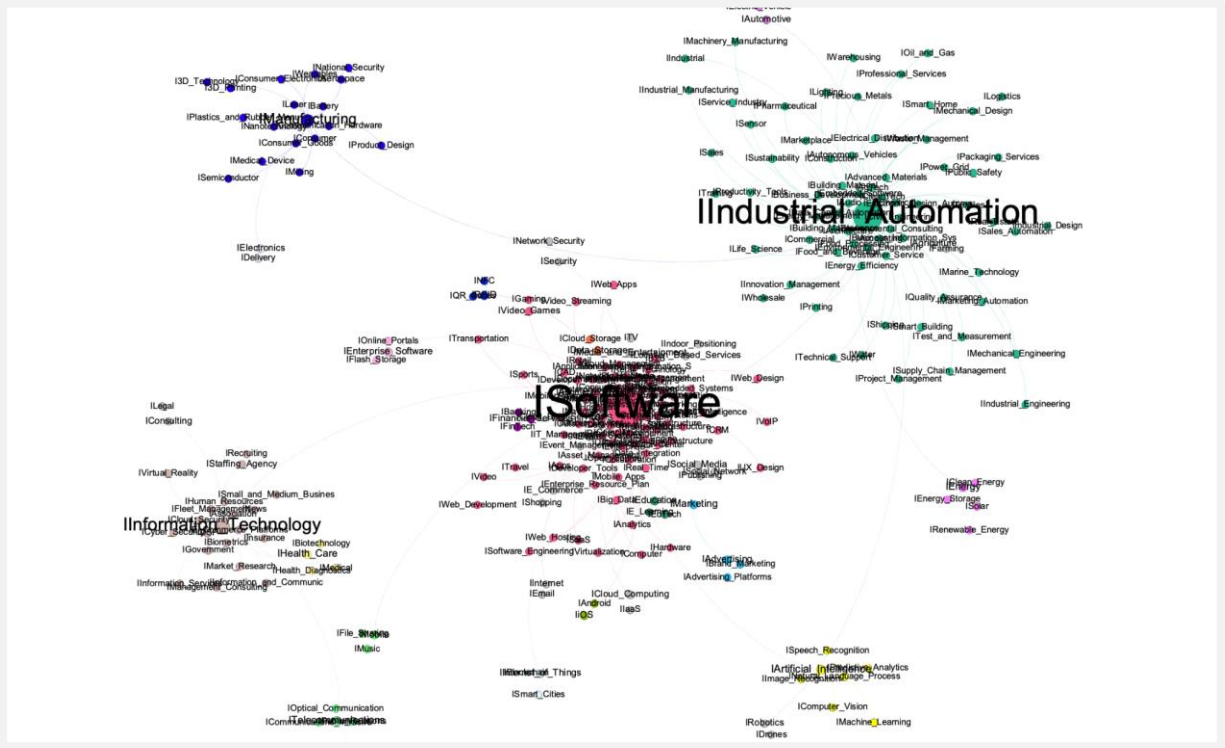


Fuente: elaboración propia con base en información CB.

El gráfico 3 corresponde al árbol recubridor máximo (o MST: *maximum spanning tree*). Estimar el MST de una red implica descartar conexiones débiles hasta revelar el 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 cualesquiera. Esto supone revelar los senderos de diversificación más frecuentemente recorridos por las empresas del sector a nivel global.

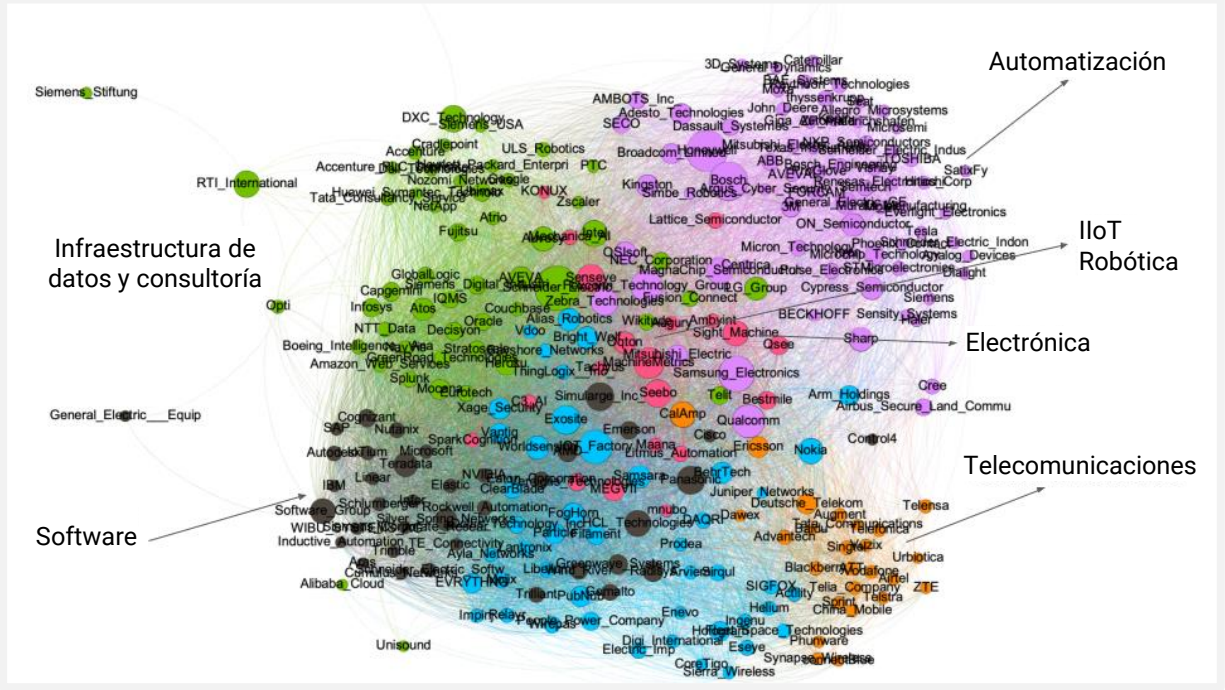
Lo primero que se observa es la centralidad que adquiere la industria del software. Es decir, los nodos asociados a la industria del software ocupan una posición de intermediación con respecto a otras tecnologías de la red. Esto significa que, para poder recorrer la red desde un extremo al otro, es necesario que las empresas que participan de la oferta de industria 4.0 tengan en forma generalizada competencias en desarrollo de software combinadas 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 industrias 4.0 (inteligencia artificial, *big data*, robótica, etcétera) constituye un grupo en sí mismo fuertemente conectado, que a su vez se vincula con el componente de software y de automatización industrial.

GRÁFICO 3. RED MST: LOS CAMINOS MÁS FRECUENTES DE LA DIVERSIFICACIÓN



Fuente: elaboración propia con base en información CB.

GRÁFICO 4. RED GLOBAL DE EMPRESAS *TOP VENDORS*



Fuente: elaboración propia con base en información CB.

Por último, en el gráfico 4 pueden observarse las empresas pertenecientes al grupo de *top vendors* como nodos de la red, que se hallan vinculados en tanto por tener competencias similares. Aquí el algoritmo de comunidades revela grupos de empresas con competencias específicas: software, infraestructura de datos y consultoría, telecomunicaciones, electrónica, IoT, y robótica y automatización, mientras que el hecho de que todas las empresas estén conectadas en un mismo componente de red pone de manifiesto la búsqueda por complementación y convergencias tecnológicas dentro de este sector. Una cuestión adicional es que dentro del grupo de empresas *top vendors* se encuentran grandes empresas que son de hecho conglomerados productivos y tecnológicos en los que convergen dominio, desarrollo y aplicación de tecnología.

CUADRO 2. SÍNTESIS DE LOS GRÁFICOS 1 A 4

	Definición de la nodos y vinculaciones	Estructura de la red	Tamaño del nodo	Filtros
Gráfico 1	Nodos: industrias (tecnologías y sectores de aplicación). Vinculaciones: cantidad de empresas que se desempeñan en esas dos industrias. Interpretación: estrategia de diversificación frecuente (compartida por 10 empresas o más).	Comunidades: campos de conocimiento dentro de la base de conocimiento del sector.	Según indicador de centralidad (*betweeness*). Indica qué tan frecuente es un nodo entre todos los caminos posibles entre dos nodos cualesquiera. Es decir, qué tan común es esa industria o tecnología entre diferentes senderos de diversificación.	Ninguno
Gráfico 2				Nodos: *top vendor*.
Gráfico 3				Vinculaciones: más fuertes (caminos de diversificación más frecuentes).
Gráfico 4	Nodos: empresas. Vinculaciones: cantidad de industrias en común. Interpretación: empresas con la misma especialización	Comunidades: conjuntos de empresas con especialización productiva similar		Ninguno

Los gráficos 1 a 4 muestran que las empresas que componen la oferta de industria 4.0 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 permite identificar campos de conocimiento, estos están fuertemente imbricados entre sí. Mientras que cuando observamos los caminos de diversificación más frecuentes (gráfico 2), se pone de manifiesto la centralidad del sector de software que opera como el principal conector entre los demás campos de conocimiento.

3. Identificación y caracterización de la oferta de industria 4.0 argentina

Esta sección está dedicada a la presentación de los resultados de la investigación sobre la oferta local de productos y servicios de la industria 4.0. En la primera parte, se sintetizan los resultados derivados de las entrevistas a informantes clave. En la segunda, se explica la metodología y los resultados cuantitativos referidos a la búsqueda e identificación de empresas proveedoras de productos y servicios de la industria 4.0, así como los resultados de la construcción de la red local de tecnologías que permita la comparación con las redes globales antes presentadas y oriente la sección de empresas para las entrevistas en profundidad. En tercer lugar, se presentan los resultados de la investigación cualitativa y, hacia el final de esta sección, la síntesis de los casos de estudio y el análisis comparativo entre ellos.

3.1. Entrevistas a informantes clave

Como se indicó previamente, la primera etapa de esta investigación incluyó la realización de entrevistas en profundidad semiestructuradas con informantes clave que, por su trayectoria y/o posición actual, podrían informar sobre la situación de la provisión de soluciones de industria 4.0 a nivel local. Es por ello que, a continuación, se incluye una síntesis de las posiciones y recomendaciones de los actores entrevistados. La sistematización de las perspectivas de estos informantes contribuyó tanto a la identificación de los segmentos clave que constituyen la oferta de productos y servicios de industria 4.0 y a la selección de empresas como a la reflexión en torno a las recomendaciones de políticas que aparecen en la próxima sección.

Se realizaron entrevistas con Hernán Braude (consultor especializado en diseño y gestión de proyectos y programas), Fernando Peirano (presidente de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación), Sergio Drucaroff (líder de Proyecto Centro Industria X UIA-ACCENTURE), Laura Segura (gerente de Servicios a Socios y de RUTA X - UIA), Ramiro Albrieu (investigador principal de Desarrollo Económico de CIPPEC), Jorge Motta (profesor titular e investigador de la Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba), Hernán Morero (Investigador adjunto de CONICET, Universidad Nacional de Córdoba), personal de la Subsecretaría de Economía del Conocimiento y de la Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa y los Emprendedores (SEPYME) del ex-Ministerio de Desarrollo Productivo, y la Comisión Directiva de la Cámara Argentina de Industrias Electrónicas Electromecánicas y Luminotécnicas (CADIEEL).

Las entrevistas tuvieron una duración aproximada de dos horas guionadas en función de tres grandes objetivos: arribar a una definición consensuada y de relevancia local sobre industria 4.0, que emergiera de la voz de los *stakeholders*; recabar la percepción de los actores clave en torno a la existencia y características fundamentales de una oferta local constituida por

empresas de capitales nacionales en el segmento de provisión de soluciones con tecnologías de la industria 4.0; y evaluar direcciones políticas potenciales para el desarrollo de esta oferta doméstica.

3.1.1. Hacia una definición de la industria 4.0 de utilidad local

A pesar de las discusiones académicas en torno al concepto y al alcance de la industria 4.0, los informantes clave ofrecieron en forma relativamente coherente una definición de industria 4.0 orientada a describir un proceso de difusión tecnológica de una nueva oleada de TIC, pero cuyos impactos van más allá de ser productivos o tecnológicos: implican profundas transformaciones en la gestión de las empresas. Esta definición podría resumirse en que la industria 4.0 es la incorporación de una nueva base técnica de producción que, a través de la generación de información, implica una nueva forma de gestión.

En otras palabras, no se adopta una definición restringida a una lista de nuevas tecnologías disponibles como la presentada en la sección 2 (IoT, impresión 3D, computación en la nube, entre otras) sino que se considera que la industria 4.0 tiene implicancias sistémicas a nivel de la organización, cuyas esferas productivas, comerciales y financieras se entrelazan fuertemente. Por lo tanto, la difusión de estas nuevas tecnologías requiere, por un lado, información integral sobre el proceso productivo y, por el otro, una nueva forma de gestión con implicancias sobre los modelos de negocios (por ejemplo, *servitización*). En sentido contrario, esta definición se orienta más a la transformación digital de los procesos productivos que al desarrollo y uso de nuevos materiales, o a la convergencia con bio y nanotecnología (a veces mencionada como industria avanzada).

Ahora bien, en algunas entrevistas, y en línea con los estudios de caso que se presentarán en el apartado 3.4, se planteó que algunos empresarios trabajan con una definición parcial de la industria 4.0 que los conduce a demandar nuevas maquinarias sin adoptar los nuevos modelos de gestión necesarios –ni utilizar los datos del propio proceso–, lo que desemboca en un desperdicio de parte de su potencial. De acuerdo con los informantes, el empresariado local suele considerar que la industria 4.0 es simplemente una nueva tecnología presente en la maquinaria, pero el rediseño de la empresa y sus procesos normalmente queda fuera del interés.

En este marco, nuevamente refrendado en los estudios de caso, se planteó reiteradas veces que mientras se sabe cuáles son las tecnologías que forman parte de la oferta 4.0, los conocimientos ligados a cómo estas tecnologías pueden aplicarse a sus empresas, las soluciones que pueden proveer, sus potencialidades y requisitos para la adopción son aún muy reducidos. En síntesis, este doble problema, a saber, demanda parcial y falta de conocimiento sobre los usos de las tecnologías, serían el mayor desafío en términos de adopción.

3.1.2. La situación de la oferta doméstica de bienes y servicios de la industria 4.0 y sus problemas principales

Los entrevistados respondieron, en primer lugar, que efectivamente existen proveedores locales de alta tecnología. Sin embargo, señalaron que la oferta local la realizan una serie de pequeñas empresas no especializadas sectorial o tecnológicamente que suelen ser originarias de otros sectores (por ejemplo, software o maquinaria y equipo). Otro punto destacado fue que los proveedores de estas nuevas tecnologías que operan en Argentina tienen un número reducido de clientes dentro del entramado industrial nacional. Se remarcó la necesidad de escalar estas empresas para que puedan proveer soluciones integrales adaptadas a la realidad local, es decir se conviertan en integradoras.

En segundo lugar, se destacó la falta de un entramado de empresas de consultoría industrial que puedan realizar diagnósticos y estructurar soluciones. Por ello, se mencionó que un punto de partida podría ser, por ejemplo, un cuerpo de ingenieros que trabajen de manera sistemática con planes de trabajo de seguimiento.

En tercer lugar, se remarcó que existen problemas de "incentivos" para lograr vincular la oferta de estas empresas locales pequeñas con empresas grandes adoptantes de tecnología por los riesgos que puede implicar elegir soluciones nacionales –incluso en casos en los que pueden ser mejores o de menor costo– debido a la falta de certificaciones o reputación. Asimismo, estas empresas grandes suelen tener acuerdos con consultoras o proveedoras internacionales que, a pesar de ser potencialmente más caras, les reducen los riesgos en la implementación de soluciones.

Otras empresas que podrían participar del mercado de oferta de soluciones son las de software nacionales que, a pesar de no tener esos problemas de escala y reputación, no se interesan por el mercado por un doble motivo: por un lado, la falta de demanda sostenida en el mercado local; por el otro, la situación macroeconómica que genera incentivos a la exportación –aun si es simplemente de horas/programador–. Los informantes señalaron que este es un problema grave, ya que vuelve más factible el surgimiento de empresas proveedoras de industria 4.0 desde el sector de software, como se observó en la red global de estas tecnologías (ver gráfico 4). Estas conocen más directamente los sistemas de información y aplicación, y están, de alguna manera, más cerca de esta etapa tecnológica en términos de innovación y podrían subcontratar la producción de sensores y maquinaria. Esto, a su vez, se presenta como más dificultoso en sentido inverso: desde el sector de maquinaria y equipo suelen no contar con las capacidades en el rubro software, algo confirmado también por algunos empresarios entrevistados.

3.1.3. Desarrollo del sector y políticas públicas

Consultados sobre las perspectivas del sector, los entrevistados señalaron que, en primer lugar, se requiere un proceso de diagnóstico e identificación de las necesidades locales para la adopción de la industria 4.0. El tipo de adopción depende de la trayectoria propia de la empresa,

por lo que los ejercicios de autodiagnóstico son importantes. Cada empresa tiene diferentes puntos de partida y diferentes trayectorias posibles de adopción. No es simplemente decidir la compra de equipamiento nuevo, sino que la clave está en la integración de los procesos de producción y decisión vinculados a través de la producción de información. Esto requiere de un ejercicio de introspección y construcción de equipos que permitan dimensionar y gestionar la modalidad de adopción de cada empresa en particular, identificar las tecnologías adecuadas y las modalidades y pasos concretos de la implementación, que van a ser específicas a cada organización. La novedad de la industria 4.0 *vis à vis* otros procesos de incorporación o actualización tecnológica radica en el carácter sistémico de este tipo de tecnologías, que no se limita a la planta ni a las oficinas administrativas y/o comerciales, sino que está imbricada en diferentes ámbitos de la organización. En esta dirección, un elemento clave detectado por los informantes es la falta de sensibilización sobre el alcance de la tecnología sobre las diferentes áreas de la organización. Asimismo, estas tecnologías permiten, dada su modularidad, un proceso de adopción por etapas que lo hacen más factible tanto organizativa como económicamente hablando.

En segundo lugar, se requiere la construcción de una "red de extensionismo 4.0", conformada por consultores (públicos o privados) formados en estas tecnologías y con conocimiento del aparato industrial (con formaciones disciplinares vinculadas a la ingeniería industrial o afines). Tanto la conformación de esta red, la elaboración de diagnósticos y soluciones, como la mera existencia de trabajadores con esas capacidades –sean *in-house* o por fuera de las empresas– se presentan como un problema que debe resolverse rápidamente. Sobre este punto, un eje adicional importante de intervención sería vincular más el sector privado con grupos de investigadores que trabajan temas vinculados a las nuevas tecnologías, así como potenciar las relaciones con centros tecnológicos universitarios.

En tercer lugar, y en línea con la necesidad de reducir el rezago productivo y ampliar la demanda que el entramado productivo vuelca sobre los proveedores locales, se necesita impulsar el financiamiento para la adopción de tecnologías 4.0, en términos no solo de adquisición de maquinarias sino también de financiamiento para los procesos de diagnóstico y extensionismo recién mencionados. En este sentido, la realización de ferias de tecnología puede ser una herramienta importante para generar conocimiento y demanda para soluciones 4.0 y además difundir casos exitosos de implementación. Este reclamo por mayor financiamiento aparece, entre los informantes, como la principal herramienta para comenzar a desarrollar al sector. Esto no sólo permitiría reducir el rezago productivo del entramado industrial pyme nacional, sino que también habilitaría a un mayor desarrollo de la oferta local, su especialización y, potencialmente, el surgimiento de empresas medianas integradoras que construyan una red de proveedores locales y complementen la oferta importada.

3.2. Identificación de empresas, fuentes de información y construcción de base de datos

Una vez concluidas las entrevistas a informantes, se avanzó sobre la construcción de la base de datos de empresas que operan en Argentina como proveedoras de tecnologías para industria 4.0, la cual tuvo dos etapas. Mientras en la primera se ha adoptado un criterio más amplio que resultó en una muestra de 354 firmas, en la segunda se procedió a reducir la primera selección a poco menos de la mitad, considerando competencias específicas para la industria 4.0. En esta etapa, muchos registros fueron eliminados debido a la irrelevancia de su oferta en términos tecnológicos de cara a la industria 4.0 o bien por inconsistencias en la inclusión (por ejemplo, en el caso de empresas orientadas a marketing digital) o bien porque muchas empresas utilizan la etiqueta de industria 4.0 y transformación digital como estrategia de venta de sus propios productos y servicios, pero se trata de servicios más o menos estandarizados y sin referencia a ninguna de las tecnologías propias de la industria 4.0, tal como fueron definidas en la sección 1.

El total de firmas alcanzado en la primera etapa resulta de dos estrategias. En primer lugar, la exploración de bases de datos preexistentes, en las que se analizaron y detectaron de forma manual a las empresas con potencial de ofrecer productos y servicios basados en las tecnologías de la industria 4.0. En segundo lugar, se incluyeron empresas recomendadas por los informantes clave u otros canales informales (investigaciones previas, participación de eventos, páginas web de iniciativas asociadas a la industria 4.0, etcétera).

Las bases previas que constituyen la fuente de información principal para la identificación de empresas son las siguientes:

- El listado de proyectos aprobados del Programa Soluciona[8] de la Secretaría de Economía del Conocimiento, que cuenta con información del nombre de la empresa y un resumen del proyecto (71 registros). Se descartaron registros de empresas que proveían servicios estándares de digitalización sin tecnologías propias de la industria 4.0 (por ejemplo, desarrollo de páginas web).

- El listado de proyectos aprobados del Fondo Tecnológico Argentino (Fontar) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, identificados en la base Sicytar a través de palabras clave[9] (258 registros). Este listado cuenta con información del nombre de las instituciones beneficiarias y con el título del proyecto. Así, se descartaron registros cuya institución beneficiaria no sea una empresa, y luego de recorrer las páginas web de las empresas

[8] El programa, iniciado a mitad de 2020, buscó incentivar financieramente proyectos ligados a adaptar, implementar y desarrollar innovaciones en el área de la economía del conocimiento a los fines de contribuir a la reactivación económica.

[9] Las palabras buscadas fueron: *industria 4.0, inteligencia artificial, artificial, intelligence, big data, data science, data mining, automatización, minería de datos, data analytics, 3D printing, impresión 3D, manufactura aditiva, internet of things, cloud computing, robótica, RFID, robotics autonomation, automation, augmented Reality, virtual reality, realidad aumentada, realidad virtual, IOT, IIOT, sensorización, sensores inteligentes* y *variaciones*.

involucradas se descartaron registros de aquellas que utilizan estas tecnologías en sus propios procesos, sin constituir una oferta potencial de productos y servicios 4.0.

- Un listado de empresas argentinas detectadas en la base Crunchbase (ver sección 2) por palabras clave asociadas a tecnologías propias de la industria 4.0[10] independientemente del campo de aplicación, y sin filtro por tamaño de la empresa (154 registros). Se descartaron los registros que correspondían a emprendimientos que no constituían empresas operativas, a empresas usuarias de estas tecnologías en sus procesos productivos pero sin oferta de productos y servicios de la industria 4.0.[11]

- Un listado de empresas con oferta de industria 4.0 radicadas en la provincia de Santa Fe, elaborado en el marco investigaciones previas (62 registros) (CEPAL, 2019), que también fue revisado descartando empresas que ya no operan en el mercado y aquellas con productos y servicios que no incluyen nuevas tecnologías.

Una vez conformada la base de empresas identificadas con un criterio amplio, se procedió a una revisión manual de los 354 registros a fin de eliminar registros duplicados y descartar casos en los que la provisión efectiva de bienes y servicios basados en estas nuevas tecnologías no fuera válida. Para ello se recurrió a la consulta de las páginas web de las empresas y una revisión cruzada (más de dos personas revisaron cada registro). Sobre cada empresa se aplicó una escala de probabilidad de constituir parte de la oferta de productos y servicios asociados a industria 4.0 (rojo, baja probabilidad; amarillo, media; y verde, alta probabilidad). Este criterio de selección estrecho, que dio por resultado la base de 154 empresas con la que realizamos el siguiente análisis, nos permite afirmar que las empresas detectadas contienen muy posiblemente competencias en las tecnologías de la industria 4.0.

Para poder caracterizar esta oferta, a cada una de las 154 empresas se le asignaron entre tres y siete clasificaciones de tecnologías, según el listado de industrias de Crunchbase. Esto implicó nuevamente un trabajo manual de rastreo y clasificación de cada una de las empresas que se basó fundamentalmente en la información previamente recabada de cada una de estas empresas como de información proveniente de las páginas web. Se consideraron sus competencias en tecnologías y áreas de aplicación generales (como desarrollo de software, capacidad manufacturera y servicios de consultoría), y tecnologías específicas (como realidad virtual, impresión 3D, IoT, entre otras).

Las empresas argentinas seleccionadas pertenecen a distintos sectores tecnológicos y están ubicadas en distintas provincias, aunque con fuerte presencia en los mayores centros urbanos del país (ver gráficos 5 y 6). En cuanto a las competencias tecnológicas, se destaca el sector del software, que tiene una participación cercana a la tercera parte del total. Ahora bien, seguidamente también aparece una fracción significativa de empresas de *big data* e inteligencia

[10] No interesa aquí si hoy oferta soluciones 4.0 sino su potencial para hacerlo en el futuro, es decir que será tenida en cuenta en la base aunque actualmente trabaje en otro segmento.

[11] Última descarga: 23 de mayo de 2021.

artificial, así como de automatización, integración y IoT. En cambio, las tecnologías ligadas a la impresión 3D y a la visualización computacional y realidad virtual presentan un menor peso, de un 8% en conjunto.

En relación con su tamaño, en general son empresas pequeñas, y algunas medianas con una larga trayectoria en diversos rubros. En cuanto a su ubicación, la Ciudad de Buenos Aires aparece sobrerrepresentada: se localiza allí un 40% de las empresas seleccionadas. Luego, las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe tienen alrededor de un 20% de estas empresas. También están presentes provincias como Chubut y Mendoza, pero aportan solo algunas pocas empresas.

GRÁFICO 5. PARTICIPACIÓN DE CADA SECTOR TECNOLÓGICO EN LAS EMPRESAS SELECCIONADAS CON OFERTA 4.0 (EN PORCENTAJE)

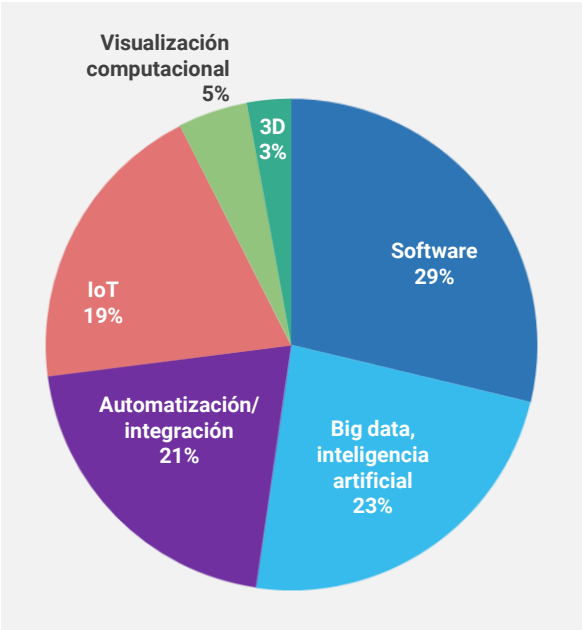
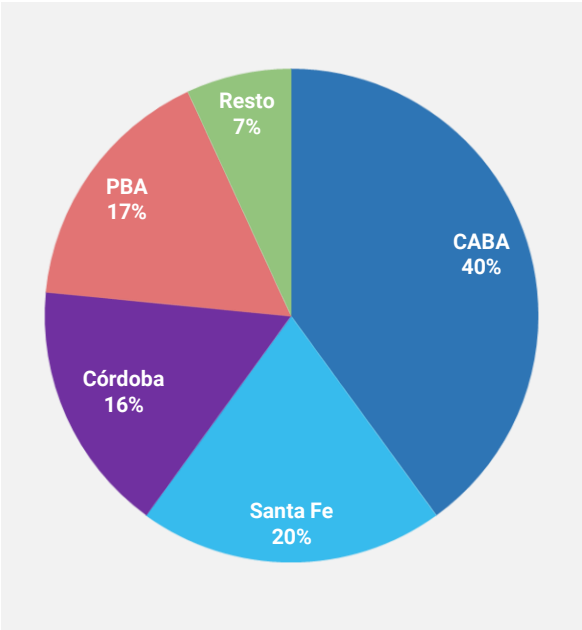


GRÁFICO 6. UBICACIÓN EN ARGENTINA DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS CON OFERTA 4.0 (EN PORCENTAJE)



Fuente: elaboración propia con base en la oferta local de industria 4.0.

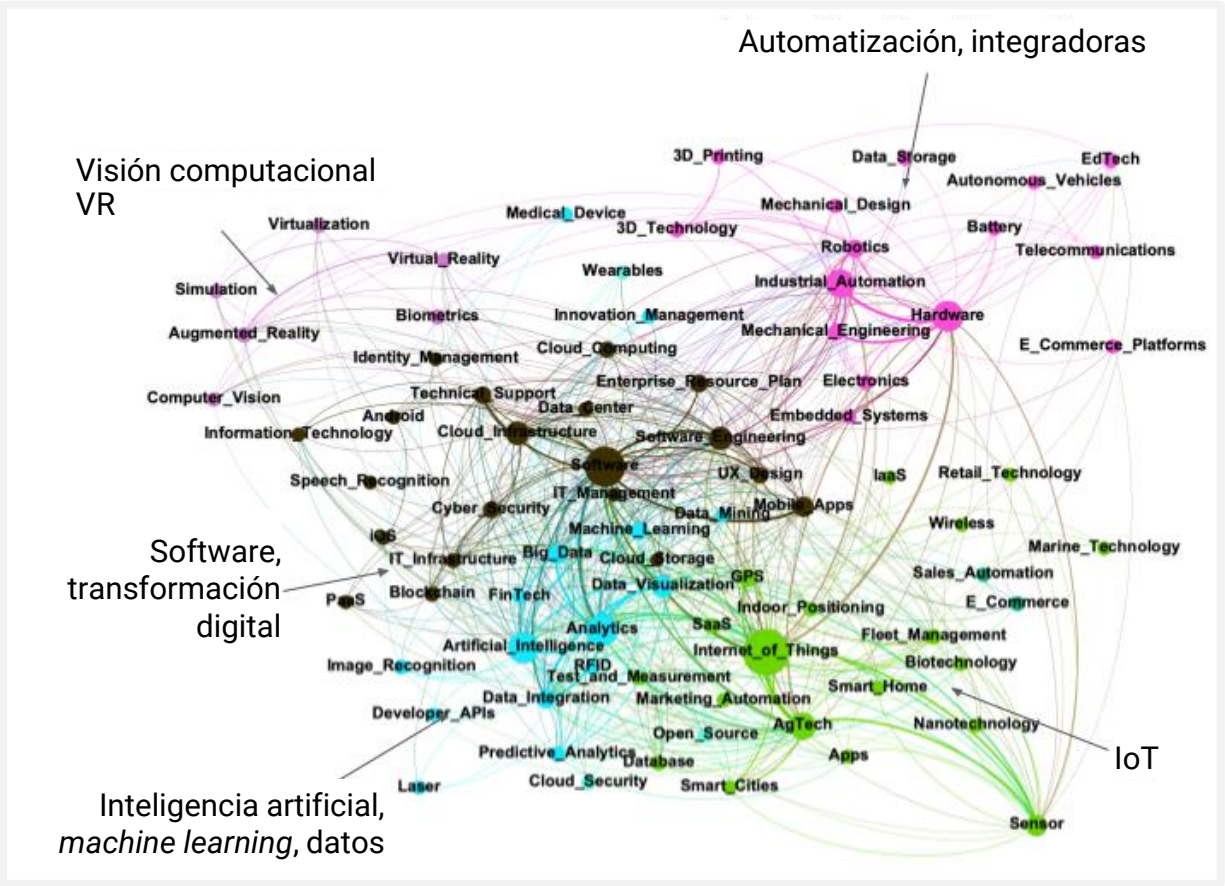
3.3. Red de industrias y tecnologías local

Siguiendo la misma metodología implementada para el caso de la red global, construimos la red de industrias y tecnologías de las empresas argentinas, donde dos tecnologías o industrias aparecen conectadas si hay al menos dos empresas con competencias en ambas en simultáneo, es decir mismos patrones de diversificación.

En el gráfico 7 se presenta la red argentina que manifiesta la gran centralidad del sector del software, de la automatización industrial y de la 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, puede denominarse software y ocupa un lugar central en la red; la segunda incluye las industrias más asociadas a la automatización, con hardware, ingeniería y diseño mecánico, y robótica; en tercer lugar, 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 industria 4.0 y, por último, una pequeña comunidad de visión computacional.

GRÁFICO 7. RED DE TECNOLOGÍAS EMERGENTE DE LA OFERTA DOMÉSTICA DE INDUSTRIA 4.0



Fuente: elaboración propia con base en proveedores locales.

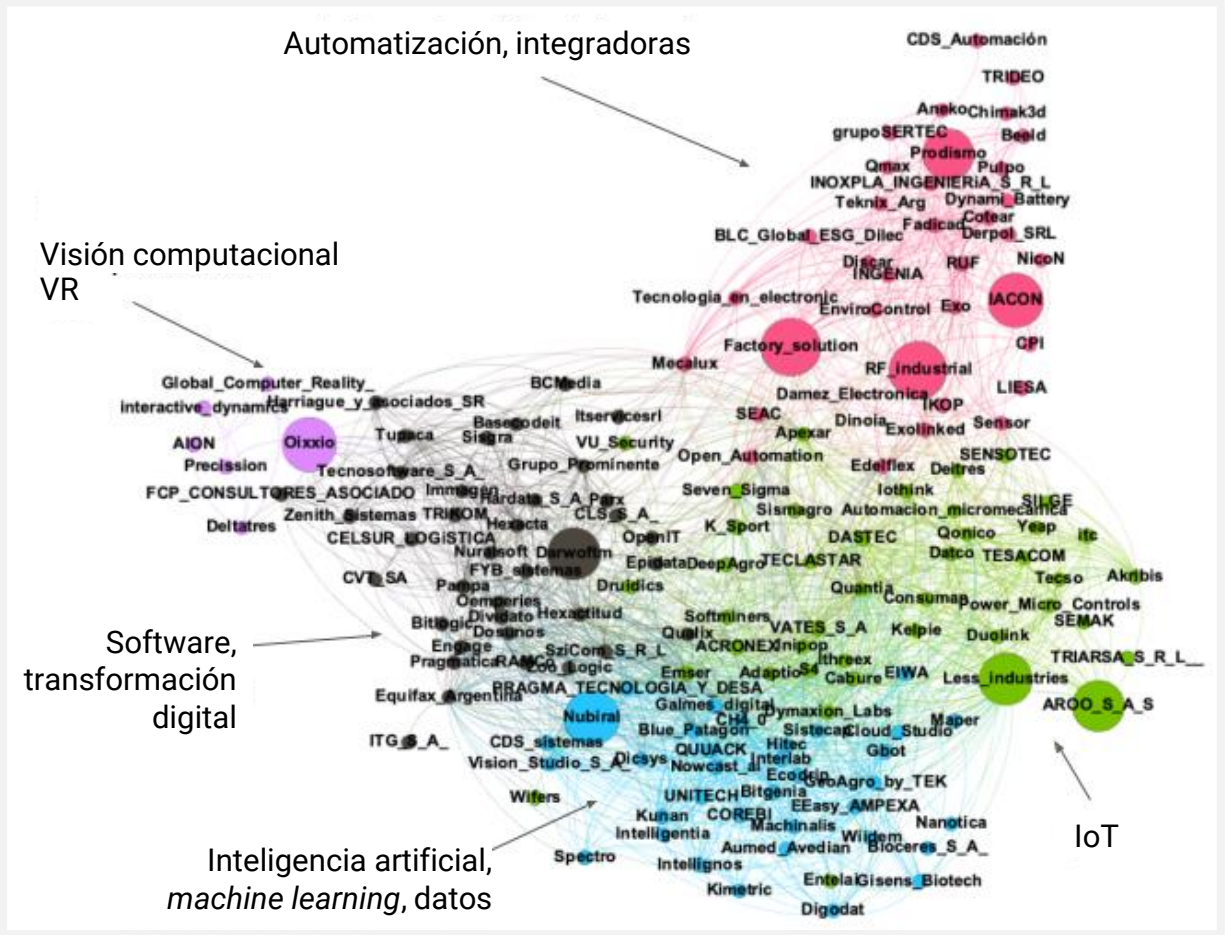
Una primera conclusión sobre la comparación con la red global es que en la red local se observan competencias en la gran mayoría de las tecnologías emergentes del paradigma de la industria 4.0. También se observa la existencia de una comunidad de tecnologías e industrias propias de IoT, lo que se justifica en la aplicación de formas más flexibles y adaptativas de adopción de tecnologías en pymes industriales. La siguiente cuestión es que el grupo de tecnologías propias de la industria 4.0 se encuentra fuertemente conectado con el sector de software y, a través de este, con el grupo de tecnologías de automatización industrial e integradoras. Lo mismo ocurre con el pequeño grupo de tecnologías referidas a la visión

computacional. Por último, las aplicaciones que se observan en la red están mayormente asociadas a la comunidad de IoT (entre las que destacan las Agtech) y a las industrias propias de la industria 4.0.

En conclusión, aun con un menor número de empresas que la red construida a nivel global, emergen patrones semejantes a aquella, demostrando la alta imbricación de tecnologías y entre ellas y los campos de aplicación, lo que vuelve relevante comprender la dinámica de sistema tecnológico con el que se desenvuelven estas empresas.

Por último, con el objetivo de visualizar empresas con bases de conocimiento convergentes, construimos la red de empresas que se vinculan por tener competencias sobre los mismos dominios tecnológicos (gráfico 8). Puede verse que, en consonancia con la red previa, surgen cinco grupos de empresas: software, tecnologías propias de la industria 4.0, IoT, visión computacional y automatización e integradoras.

GRÁFICO 8. RED LOCAL DE EMPRESAS PROVEEDORAS DE SOLUCIONES PARA INDUSTRIA 4.0



Nota: en mayor tamaño aparecen las empresas entrevistadas.
Fuente: elaboración propia con base en proveedores locales.

3.4. Selección de empresas para el estudio y metodología cualitativos (dimensiones claves de análisis)

A partir de la conformación de la base de empresas oferentes de soluciones de la industria 4.0, se seleccionaron diez empresas para ser entrevistadas como estudios de caso. Dado el contexto pandémico, se propuso la posibilidad de realizar las entrevistas de manera virtual, pudiendo concretarse solo en un caso una entrevista de modo presencial.

La selección de los casos siguió un criterio de competencias tecnológicas en las que las empresas basan sus productos y servicios. Se agruparon las empresas en cinco categorías: 1) integradora, 2) automatización, 3) internet de las cosas, 4) realidad virtual-aumentada, y 5) datos e inteligencia artificial. Se consideraron dos grupos diferentes entre empresas integradoras y automatización diferenciando de esta forma, a empresas preexistentes de nuevas empresas creadas para orientarse al segmento de industria 4.0.

Una vez identificadas todas las empresas con su subsector se procedió de manera colectiva a seleccionar las empresas más relevantes para entrevistar. Para ello se utilizó la información provista por las empresas en sus páginas oficiales y redes sociales. Se privilegió lograr variedad en la muestra y para ello se buscó empresas de diferente tamaño –aunque son en general pequeñas y medianas–, diferente localización geográfica, diferente perfil de edad, origen sectorial, trayectoria, entre otros.

De ese proceso quedaron seleccionadas 10 empresas: 2 por el subsector integradoras, 3 por el subsector automatización, 2 por el subsector internet de las cosas, 1 por el subsector realidad aumentada –no se logró concertar entrevista con otra–, y 2 por el subsector de *big data*.

A cada una de estas se les realizó una entrevista semiestructurada de una duración aproximada de entre una hora y una hora y media que se desarrolló con la presencia de varios integrantes del equipo consultor y acompañados por técnicos del entonces Ministerio de Desarrollo Productivo.

La guía de preguntas de entrevista se trabajó de manera previa a todas las empresas y se les realizó el mismo cuestionario a todas ellas. La entrevista se compuso de seis bloques temáticos:[12] 1) historia productiva de la empresa, 2) característica de los proyectos que realiza, 3) construcción de competencias, 4) mercado al que atiende, 5) principales problemas enfrentados y el rol de las políticas públicas, y 6) perspectivas. En el primer bloque de preguntas relativas a la historia productiva de la empresa (10 minutos de entrevista), se buscó información sobre el tipo de productos y servicios que la empresa ofrece, desde cuándo y cómo llegaron a esa oferta, y si utilizaban para ella la denominación de “soluciones de industria 4.0”.

[12] En el anexo 2 se presenta la guía de preguntas utilizada.

En el segundo bloque se consultó sobre qué características tenían los proyectos típicos que realizaban (15 minutos de entrevista). Aquí se consultaba por la estrategia aplicada para conseguir nuevos clientes, los tiempos aproximados de esos proyectos desde la firma del contrato hasta la puesta en marcha y los volúmenes de inversión implicados. Asimismo, por la relación con proveedores y la forma de integración dentro de una cadena de valor, la existencia de acuerdos formales y otras características de relación con proveedores extranjeros de soluciones de la industria 4.0. Finalmente, se les consultaba sobre qué aspecto del negocio de sus clientes consideraban que sus productos y servicios tenían el mayor impacto (productividad, seguridad, calidad o control).

El tercer bloque estuvo destinado a conocer la construcción de competencias de la empresa, (20 minutos). Se consultó sobre la formación de los fundadores de la empresa, experiencia previa experiencia previa en otras empresas y vinculación formal o informal con universidades, centros tecnológicos, o proveedores. Luego se indagó en las modalidades de construcción de competencias en la fuerza de trabajo, sobre los perfiles laborales que contratan en la empresa, dónde encuentran tales perfiles, si era necesario un proceso de formación específico y su tasa de rotación.

El cuarto bloque estuvo vinculado a preguntas sobre el mercado al que atiende (15 minutos). Se indagó acerca de quiénes son sus clientes, en qué ramas están, qué tamaño tienen y donde se localizan. Luego se consultó por la estrategia comercial, por qué esos eran sus clientes y si esa relación había impulsado a la creación de otras oficinas de la empresa. Finalmente se indagó sobre sus ventajas competitivas, dónde estaba su fortaleza comparada con sus competidores (nacionales o extranjeros) y en relación con la oferta de multinacionales.

El quinto bloque de preguntas se orientó a los problemas que las empresas enfrentan y su percepción sobre las políticas públicas (10 minutos). Allí se conversaba sobre los problemas que enfrentaban para conseguir o convencer a los clientes de adoptar soluciones de Industria 4.0. Se incluyeron preguntas acerca de si enfrentan problemas por la rotación del personal o por ausencia de perfiles. Finalmente, si estaban familiarizados con programas públicos o habían participado de estos.

Finalmente, el bloque 6 preguntaba sobre las perspectivas de su empresa y cuáles eran sus principales desafíos.

3.5. Presentación de los estudios de caso

En este apartado se presenta el resumen de los casos en función de los ejes claves considerados en las entrevistas. A continuación se analizan en forma comparada los casos de estudio con el objetivo de identificar patrones comunes entre las empresas del sector acordes con diferentes criterios de clasificación que permitan pensar estrategias para la intervención pública.

Empresa 1

Oferta. Empresa de automatización industrial especializada en servicios de implementación e integración de robótica. Actúa como representante de una multinacional japonesa para Argentina, Chile, Uruguay y Paraguay. Actualmente tienen una plataforma propia de recolección de datos en tiempo real del funcionamiento de los robots (si está en operación, detenidos, unidades por unidad de tiempo, etc.) que puede ser instalada por etapas según el requerimiento del cliente. La empresa ya tenía competencias (16 años de experiencia) en automatización industrial cuando comienza a ofrecer productos y servicios bajo el rótulo de industria 4.0.

Proyectos. El diseño de cada proyecto se realiza a partir de una demanda específica del cliente. Se busca la solución más estandarizada posible de acuerdo con costos y repuestos. La empresa subcontrata la parte metalmecánica y adquiere el equipamiento a empresas globales de robótica. El robot explica alrededor de un tercio del costo total del proyecto. Si bien los proveedores de equipamiento suelen ser de "primera línea", a veces también utilizan proveedores de origen chino debido a sus menores costos. La magnitud de los proyectos varía mucho, en el orden de los USD 70.000 y 270.000 con duración promedio de entre tres meses y un año.

Competencias. En la empresa trabajan cinco personas con perfiles técnicos, las competencias de los fundadores son en tecnicatura electromecánica e ingeniería electrónica y automatización. No obstante, el equipo se amplía con instaladores con competencias en electromecánica que son contratados para proyectos específicos. Ponderan altamente las capacitaciones recibidas al personal. No tienen rotación, es un equipo compacto de trabajo. Ellos proveen capacitación para el personal de las empresas usuarias (mantenimiento y programación básica y avanzada de los robots).

Mercados. Se destina al sector industrial en el Gran Buenos Aires, principalmente el conformado por empresas medianas y grandes. En general son las empresas de mayor tamaño, con departamentos de ingeniería, con las que tienen proyectos exitosos. Estos clientes llegan a través de los proveedores de equipamiento, que hacen ventas y necesitan instalación y puesta a punto. También tiene como clientes a pequeñas, pero en estos casos aunque solicitan cotizaciones les cuesta definir la realización y financiar el proyecto. También hay incertidumbre sobre lo que la solución puede generar (ahorro de insumos, calidad del producto, aumento de productividad por ritmo de producción y salud laboral). Muchos clientes buscan liberar personal pero luego observan que necesitan operarios para mantenimiento y programación. Reciben muchos pedidos de cotización y consultas que no se concretan en proyectos efectivos.

Desafíos. Se menciona la falta de conocimiento y financiamiento por parte de sus clientes. También la necesidad de un cambio de mentalidad en las empresas de gestión familiar. Y la ausencia de certificaciones de calidad que dificulta la competencia con proveedores extranjeros.

Empresa 2

Oferta. Empresa integradora dedicada a las áreas de automatización industrial y robótica, con 20 años de experiencia en el mercado.

Proyectos. Realiza dos tipos de proyectos principalmente. En los proyectos completos (instalación de la línea entera automatizada), puede insumir varios meses, pero también realizan proyectos cortos de consultoría y montaje de maquinaria (de 15 a 20 días sin considerar la etapa administrativa). En general estos proyectos consisten en la puesta en marcha de maquinaria ya comprada por el cliente. Trabajan únicamente con proveedores de primera línea, los cuales presentan las nuevas tecnologías. Los productos de origen chino son desestimados debido a las preferencias de sus clientes. Los proyectos más chicos pueden representar hasta 5.000 dólares.

Competencias. Trabajan cinco empleados –administrativos y desarrolladores de software– y tiene dos socios con competencias en automatización (técnicos en automatización de la UTN y de gestión de sistemas industriales de la universidad de Lomas de Zamora). Los nuevos perfiles son junior, algunos estudiantes de automatización a los que capacitan internamente. Se subcontratan trabajadores, mayormente técnicos con capacidades en electromecánica, para la instalación de proyectos que requieren más mano de obra. Sus competencias actuales son en automatización y robótica pero ponderan su trayectoria previa en informática y telecomunicaciones que los posiciona en un lugar clave para pensar la integración que requiere la industria 4.0.

Mercados. Atiende al sector industrial en el GBA, con algunos proyectos en Santa Fe. Sus clientes son fundamentalmente empresas medianas del sector automotriz y farmacéutica. El acceso a nuevos clientes es a través del boca en boca, por trabajos realizados en el pasado.

Desafíos. La falta de estabilidad los desalienta a crecer. Falta de financiamiento a clientes frustra muchas cotizaciones. Debido a la falta de financiamiento y previsión clara de los beneficios que trae la tecnología a los potenciales usuarios (muchas veces solo tienen en mente la sustitución trabajo-máquina), las pymes no suelen avanzar con los proyectos que consultan.

Empresa 3

Oferta. Ofrece servicios de automación basados en tecnología neumática con 60 años de historia. Tienen desarrollos propios de neumática industrial (cilindros, válvulas y generadores de vacío, isla de válvulas, servomotores, etcétera)[13] y servicios de implementación de soluciones con producción propia a integración con productos importados y proveedores globales (por ejemplo, electrónica con Delta). La llegada de la industria 4.0 llevó a la necesidad de integrar los productos tradicionales con electrónica, interfaces de comunicación y software. Desde 2015 se

[13] Más de 20.000 productos en su catálogo, archivos CAD, y modelado 3D de los productos.

posiciona como una empresa que ofrece soluciones para la industria 4.0 y las implementa en su propio proceso productivo.

Proyectos. Es una empresa de producción de dispositivos y equipamiento que luego son integrados por terceros o por ellos mismos en el área de negocios de servicios. Los proyectos que ellos desarrollan son de tamaño variable: integran actividades de ingeniería, programación, que incluye dispositivos propios o de terceros. Han encarado proyectos complejos de gran magnitud, de desarrollo propio (ingeniería, implementación, servicios de posventa).

Competencias. Tienen 300 empleados; en el área de desarrollo trabajan alrededor de 35 personas, todos ellos ingenieros. En general, la rotación es baja. Su fuerza de trabajo tiene altas capacidades no solo en el área de desarrollo sino también en puestos operativos (operación de controladores lógicos programables (PLC por sus siglas en inglés), máquinas de control numérico, etcétera). La antigüedad promedio de la plata es de 20 años. En las posiciones más cercanas a la electrónica y la programación, el personal es más joven. Cuentan con un departamento de capacitación (didáctica) con escuelas técnicas. Además, proveen equipamiento para instituciones educativas (colegios técnicos y universidades).

Mercados. Tienen un conjunto amplio de clientes en función de la variedad de productos y servicios que ofrecen. Su producción está abocada mayormente a integradores, y en el caso de servicios de soluciones de automatización, son empresas de sectores variados, como automotriz con liderazgo en adopción de industria 4.0, hasta minería, petróleo y gas, alimentos, etc. Se dedican al mercado interno y también exportan (tienen plantas en el exterior para la producción de algunos productos complementarios, la mayoría exporta). Realizan una promoción de sus productos con ferias móviles donde llevan productos y personal para dar capacitación en pequeñas empresas.

Desafíos. Mencionan la inestabilidad macroeconómica: problemas de financiamiento de las adoptantes y problemas de competitividad frente a los productos importados. Apuntan a la mejora continua y optimizar procesos. Problemas para conseguir proveedores locales (insumos y equipamiento). Por el tipo de clientes a los que atienden (grandes empresas o integradores) en general tienen conocimiento sobre las ventajas de optimización, pero reconoce los problemas en empresas pymes para adoptar las nuevas tecnologías.

Empresa 4

Oferta. Empresa de equipos, maquinaria y bienes de capital (por ejemplo, matrices para industria automotriz) con más de 50 años de historia, que se diversifica hacia automatización industrial, la fabricación de dispositivos neumáticos y electroneumáticos. Más recientemente (desde 2004) profundiza su especialización hacia industria 4.0 al incorporar nuevas áreas tecnológicas como diseño y montaje de líneas de ensamble robotizadas, y software para control de procesos incluida la simulación 3D (gemelos digitales).

Proyectos. En general son grandes proyectos, tanto en tiempo (siempre superan los seis meses) como en orden de magnitud de la inversión (desarrollaron proyectos que superaron el millón de dólares, con un piso de USD 300.000). El alto porcentaje del valor agregado corresponde al servicio, siendo el hardware menor a un cuarto del monto total de la inversión. Incluso sostienen que no les interesan proyectos en los que el valor del hardware supere esa proporción. Trabajan con diferentes proveedores de robots globales de primeras marcas. Los diseños son tercerizados y últimamente, dependiendo del volumen de trabajo, también las simulaciones. Sus proyectos apuntan a resolver problemas productivos como cuellos de botella en la producción, problemas de calidad y ausentismo, al estandarizar las competencias del trabajador.

Competencias. Los trabajadores son mayormente técnicos electrónicos y mecatrónicos e ingenieros electrónicos, quienes pueden hacer el mantenimiento de los robots. Señalan la dificultad para retener a los perfiles más cualificados por la competencia salarial y la globalización del mercado de trabajo. Los ingenieros electrónicos tienen una permanencia en la empresa de dos o tres años, y cada perfil perdido no encuentra un reemplazo inmediato en el mercado. Incluso tienen alta rotación en los técnicos. Apuestan a tomar personas jóvenes y formarlas en la empresa, realizan actividades de capacitación con colegios de la zona y con UTN para los puestos que requieren mayores competencias. También realizan concursos y programas de prácticas profesionales para atraer potenciales perfiles. Tiene una inversión del 7% de sus ingresos en investigación y desarrollo (I+D) y dedican grandes esfuerzos a los servicios posventa, incluyendo capacitación para los usuarios.

Mercados. Mayormente trabajan con el sector automotriz (terminales y autopartistas, tamaño medio y grande de capital extranjero). Tanto para el mercado interno como para la exportación. Tienen un foco reducido en pymes, con alguna incursión en maquinaria agrícola.

Desafíos. Sensibilización en el segmento de pymes industriales, aunque no es el foco de mercado de ellos. Competencias en los usuarios para el uso de la tecnología: necesitan formar y capacitar a los usuarios. Reducir la rotación de sus perfiles profesionales. Financiamiento para clientes en el caso de grandes proyectos y para empresas medianas (por ejemplo, maquinaria agrícola).

Empresa 5

Oferta. Está orientada a desarrollos de hardware a medida para pymes y tiene un desarrollo propio: un producto de electrónica industrial modular (por rasti) para implementaciones de IoT. Es decir, módulos con diferentes sensores para medir temperatura, presión, tomar información de maquinarias, etc., fácilmente integrables y programables. La empresa desarrolló la plataforma y lenguaje de programación para que la instalación de estos sensores sea muy sencilla. El objetivo es vender el producto a usuarios finales o trabajar a través de integradores. No están interesados en el servicio de instalación, sino en el escalado de la producción del producto propio.

Proyectos. Actualmente, la empresa está focalizada en escalar la producción de su nuevo producto. Se propone que el mismo sea comercializado a través de integradores, ya que es más barato y, en algunos casos, más simple que dispositivos y productos de electrónica ya instalados en el mercado. Apuntan a que el producto sea "listo para instalar" y de mucho menor precio que la electrónica importada. La instalación de su kit insume solo un par de meses y puede hacerse con bajo nivel de competencias previas, por su diseño apto para cualquier usuario. El costo estimado está por debajo de los 10.000 dólares según la magnitud y extensión del proyecto. Compite con otras soluciones de IoT del mercado.

Competencias. Además del dueño de la empresa, trabajan cuatro desarrolladores y un armador (soldador de placas y módulos encastrables), este último es contratado cuando hay producción. Enfrenta altas tasas de rotación atraídos por empresas muy dinámicas (INVAP) o el exterior. Tiene una estrategia de *recruiting* basada en foros de electrónica (hobbista), busca perfiles de personas orientadas a la resolución de problemas. El socio fundador es licenciado en Ciencias de la Computación. Como trabajador independiente había realizado servicios de consultoría en ingeniería y la resolución de problemas complejos para la industria del petróleo y gas (un proyecto derivado en una patente), pero no eran soluciones escalables. El desarrollo de la plataforma y el sistema de dispositivos encastrable apunta a un modelo flexible que se adapte a circunstancias particulares de cada empresa para poder escalar la operación de la empresa.

Mercados. Fundamentalmente trabaja con pymes industriales. Tuvo algún proyecto para grandes empresas en la industria de petróleo y gas, pero no para este producto sino como consultor.

Desafíos. Su principal desafío es el crecimiento de la empresa. Necesitan obtener financiamiento para elaborar la estrategia comercial de la empresa, que todavía no está consolidada y comercializar la plataforma (que integra software y hardware). Sólo lograron algunas ventas pero enfrentan la dificultad de competir con soluciones más estandarizadas y reconocidas en el mercado. Los potenciales clientes con medianos y grandes prefieren soluciones ofrecidas por los integradores (basadas en equipamiento importando), mientras que las empresas más chicas no ven el potencial del producto. Por eso el trabajo con integradores es clave. La estrategia de la empresa es escalar su producción y brindar servicios sobre la base de la plataforma. Apuntan al mercado interno y externo.

Empresa 6

Oferta. Empresa de ingeniería eléctrica con foco reciente en la transformación digital. Su servicio histórico eran los servicios eléctricos industriales. Actualmente, su principal producto es una plataforma para el sensado, análisis de datos y visualización a los fines de optimizar el consumo eléctrico. La plataforma se empezó a desarrollar en 2016. Esta tecnología permitiría un ahorro de energía promedio (estimado) entre un 18% y un 20% y menores costos de mantenimiento debido a menores interrupciones de la producción. Su hardware está orientado a virtualizar el sistema eléctrico, pero su software es más genérico y trata de integrar otros sistemas de la empresa.

Proyectos. Con la plataforma desarrollada, el producto es de fácil implementación (cuatro a cinco días), y requiere bajos volúmenes de financiamiento. Los proveedores de sensores son importantes en su circuito productivo pero trabajan con varios de ellos debido a que el mercado es grande. El monto de cada proyecto está en el orden de los $500.000 a $2 millones.

Competencias. Trabajan alrededor de cinco personas y entre 20 y 25 técnicos "de campo" que realizan la instalación. Estos últimos, en general egresados de colegios técnicos, tienen un proceso de capacitación de 30 días. También trabajan, aunque no de forma permanente, programadores. Para liderar un proyecto (en general ingeniero o programador), se requieren entre seis meses y un año de formación. En cuanto al proceso de contratación, suele ser vía contactos de la facultad o el secundario o recomendaciones.

Mercados a los que atiende. Pymes locales, muchos clientes en San Juan. Trabajan con diversas ramas industriales y de servicios dado el foco en lo energético. Promueve el uso de Programa de Apoyo a la Competitividad de la SEPYME. Incluso facilita la gestión administrativa para solicitar el financiamiento sin costo para el usuario final.

Desafíos. Desconocimiento de los adoptantes de las tecnologías 4.0, situación macroeconómica, el desarrollo de la competencia (incertidumbre ligada al mercado madurando).

Empresa 7

Oferta. Se dedica al desarrollo de soluciones y a la integración de hardware y software en la nube. El foco tecnológico está en la sensorización y recopilación de información, es decir IoT aplicada a diferentes problemas tecnológicos. El diseño de la solución es propio, mientras que la fabricación y ensamble de la placa son tercerizados. Solo si la escala es baja se elabora internamente. Para la nube, usan Amazon Web Services (AWS), Google Cloud y otros servicios derivados. Son parte de la Cámara Argentina de Internet (CABASE), donde impulsaron la agenda IoT.

Proyectos. Sus proyectos tipo comienzan con la identificación de un problema de ingeniería y la construcción de un producto a medida. Luego de su instalación y puesta a punto, se evalúa si la solución puede encontrar otros mercados para ser escalada. El modelo de negocios es la venta no de la solución, sino de los servicios asociados al proyecto. Es decir, se diseña la solución, se implementa y luego cobran los servicios que provee la solución por varios años.

Competencias. En la empresa trabajan 11 personas, incluyendo a los fundadores. De todos ellos, una porción trabaja *part time*. Los procesos de *recruiting* funcionan en radios reducidos (personas cercanas). Las búsquedas apuntan a perfiles técnicos y que manejen el inglés y los ingresantes tienen un proceso de *on-boarding* promedio de tres meses.

Mercados. Atiende principalmente al exterior. Tienen presencia comercial (con diferentes razones sociales) en cada mercado en el que operan. La solución se diseña de forma

centralizada pero la implementación del proyecto y la fabricación de ser necesaria, se realiza *in situ*, con proveedores locales o con importación de componentes de origen chino. Tienen una estrategia de crecimiento de la empresa apalancada con financiamiento del ecosistema emprendedor. Buscan financiamiento de aceleradoras de empresas en las que participan con distintos potenciales proyectos. De ahí consiguen clientes. Inicialmente habían desarrollado un producto para el sector agrícola (con una lanza para silo bolsa para control de variables internas al silo, como humedad y temperatura). Uno de sus proyectos más importantes fue el desarrollo de un sistema de control digital de líneas de alta tensión en Chile, no obstante su objetivo es ofrecer productos y servicios a la industria manufacturera.

Desafíos. Los potenciales clientes no siempre ven la necesidad de integrar sus productos. Problemas para escalar soluciones de otros campos. Necesidad de financiamiento para que crezca el equipo de I+D (escalado de soluciones). Dificultades de adopción de tecnologías por las empresas pequeñas por problemas de financiamiento y falta de perspectiva sobre los servicios que provee la tecnología.

Empresa 8

Oferta. Se especializa en el montaje industrial (15 años de historia), con creciente incidencia en el componente digital es decir, software orientado a *smart factory*. Es la empresa del grupo dedicada a la concepción digital completa de una fábrica: arquitectura digital, gemelos digitales, simulaciones, realidad virtual y visión computacional, diseño de la planta, *layout* de procesos y *layout* funcional. Las nuevas plantas son digitales y se busca explotar la información generada. Como estrategia orienta porciones mayores de su negocio hacia lo intangible, con foco en la extracción y análisis de datos para dedicarse exclusivamente al armado de *smart factories*. No son integradores, solo realizan el diseño e implementan si es algo muy particular que no se consigue en el mercado, sino su servicio de consultoría termina ahí. Esto les permite escalar la solución que ofrecen.

Proyectos. Son proyectos complejos de montaje completo de plantas industriales y reconversión de plantas a industria 4.0 que se realizan en varias etapas. Trata de proyectos con una duración de dos a tres años como máximo. Aportan la arquitectura funcional y los clientes eligen el servicio de la nube que prefieren (AWS, Google o uno propio) al igual que con el hardware. Además de los sistemas de *smart factory*, desarrollaron un producto propio de IA para brazos robóticos con los fines de ahorrar horas de programador de robot (alrededor de USD 80).

Competencias. Tienen entre 40 y 50 ingenieros. Los programadores suelen contratarse a demanda, con alta tasa de rotación. Buscan jóvenes interesados en robótica y con habilidades blandas que sepan buscar información y resolver problemas. Tienen dificultades para atraer a programadores e ingenieros. No consiguen perfiles que sepan de redes neuronales, por ejemplo, o inteligencia artificial. Participan de múltiples redes institucionales sobre las que apalancan sus competencias: son parte del clúster Córdoba Technology, utilizan el nodo de IA del Mincyt,

Universidades y el Cluster Córdoba Technology. Usan supercomputadora de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación de la Universidad Nacional De Córdoba.

Mercados a los que atiende. Automotrices, autopartistas, grandes empresas en Argentina y en el exterior (Chile y Uruguay). Por ejemplo: Volkswagen, Mirgor, Toyota, Bimbo.

Desafíos. Problemas para concretar pedidos de cotización, especialmente en clientes de menor tamaño. Problemas para encontrar perfiles técnicos en los segmentos más dinámicos: redes neuronales, inteligencia artificial, *machine learning*. Se percibe que los proyectos de *machine learning* son inviables por los costos, a la vez que constituyen los activos estratégicos que les permitirían financiamiento para los proyectos propios.

Empresa 9

Oferta. Presta servicios de integración a la nube, en consonancia con la transformación digital. Se encarga de realizar la infraestructura de datos de grandes empresas e integrarlos en la nube de grandes proveedores internacionales (Amazon y Microsoft en primer lugar y Google más recientemente).

Proyectos. Los proyectos son llave en mano o coproducidos con los clientes sobre la base de un asesoramiento consultivo constante orientado a mejoras incrementales sobre la infraestructura de datos vigente. Los proyectos son de diferente duración y magnitud, pudiendo variar de entre dos y tres meses a 12 meses con un costo promedio de USD 4.000 a 5.000 por mes. Durante los últimos años vieron acelerar su negocio porque muchas decisiones de integración a la nube fueron catalizadas por el contexto de pandemia. Los nuevos clientes surgen de la recomendación de clientes previos y en ocasiones son recomendados por los proveedores globales de servicios de nube.

Competencia. La experiencia de los socios fundadores es en informática y telecomunicaciones. Actualmente trabajan 80 personas en la empresa. Los ingresantes suelen provenir de los primeros años de carreras tecnológicas y se espera que a los tres meses rindan un primer examen de certificación de la capacitación online que paga la empresa y a los pocos días empiecen a trabajar. Asimismo, la empresa tiene un área interna de 10 a 12 personas en la que se realiza la exploración de nuevas tecnologías (I+D). La rotación está en el orden del 15%, valor bajo para el mercado pero elevado dadas las dificultades de dar con los perfiles adecuados.

Mercados. Atiende a empresas medianas y grandes que provienen principalmente del área de telecomunicaciones. El segundo sector en términos de clientes son los bancos y finanzas en la nube. También son proveedoras de algunos unicornios y nuevas empresas que al nacer globales necesitan montar su infraestructura de datos en la nube desde el comienzo. Su oficina principal está en Buenos Aires que trabaja para Argentina, Chile, Uruguay y Perú y tiene otra en México, para México y Colombia, lo que les permite atender a clientes de todos estos mercados.

Desafíos. El valor del dólar y las restricciones cambiarias limitan el crecimiento porque la mudanza y el alquiler de los servicios de nube se abonan en dólares. El modelo de negocios de las gigantes de tecnología puede generar incertidumbres de los costos totales por los servicios utilizados, incertidumbre que se amplifica con la variabilidad del tipo de cambio. A diferencia de los proyectos que implican equipamiento aquí los costos de implementación no solo refieren a la integración a la nube sino también costos mensuales por los servicios consumidos. Reclutar personal calificado, especialmente porque la globalización del mercado de trabajo de software lleva a hacerlos competir por los recursos humanos con sueldos dolarizados que ofrecen las empresas extranjeras.

Empresa 10

Oferta. *Software factory* que maneja diversas tecnologías de desarrollo de software en función de las demandas de los clientes. Está orientada hacia la transformación digital, uso de datos e inteligencia artificial, pero atienden todo tipo de proyectos. Los proyectos pueden ser desde *data engineering* hasta *machine learning*. El área de ingeniería representa el 50% de su empresa.

Proyectos. La duración promedio de los proyectos es de seis meses y como máximo se extiende a dos años. El tiempo depende de la cantidad de componentes (inclusión de UI/UX, etcétera). Son proyectos de desarrollo de software.

Competencias. Trabajan en la empresa 107 personas. De ellas, 90 están en el área de desarrollo y el resto, en soporte. La cantidad de personal es variable, y la tasa de permanencia en 2019 fue del 72%. Tienen un área de *recruiting* y contratan a las personas si finalizan los programas de capacitación cuya duración se extiende entre seis y ocho meses que es cofinanciado con el gobierno de Córdoba. El requisito es ser estudiante universitario. Las capacitaciones están tercerizadas.

Mercados. El tamaño de las empresas clientes es, en general, medio y grande en Argentina y variado en Estados Unidos donde se radican sus clientes externos. La empresa tiene presencia comercial con una sede pequeña en Estados Unidos. Están especializados en el sector bancario y comunicaciones. Se destaca que el 30% de sus ventas son al extranjero.

Desafíos. Falta de presupuesto de las pequeñas firmas para digitalizar y de noción de la necesidad de hacerlo. Rotación del personal. Atracción de recursos humanos calificados y dificultad para competir con los salarios ofrecidos desde el exterior.

CUADRO 3. EMPRESAS ENTREVISTADAS SEGÚN TIPO

Tipo	Empresa	Monto de inversión	Mercado	Desafíos
Integradora adaptativa	1	De USD 5.000 (instalación de equipos) a 270.000 (desarrollo de ingeniería, instalación)	Medianas y grandes	Pedidos de cotización que no se realizan.
	2		Pequeñas y medianas empresas nacionales	Falta de información por parte de los clientes (usos de la tecnología, potenciales impactos, etcétera). Falta de financiamiento de los potenciales clientes (en especial en medianas y pequeñas).
Integradora con servicios de ingeniería, provisión de bienes de capital y montaje industrial	4	Proyectos complejos. Montaje industrial. Consultoría e ingeniería. Desde USD 300.000 hasta varios millones de dólares.	Mercado interno y externo. Grandes empresas.	Inestabilidad macroeconómica: problemas de financiamiento de las adoptantes (en segmento media y pyme). Pedidos de cotización que no se concretan. Problema de rotación y conseguir profesionales en segmentos específicos (redes neuronales, IA). Falta de información por parte de los clientes en el segmento pyme.
	8			
Electrónica	3	Comercialización de productos propios, no trabajan por proyecto (montos variables potencialmente bajos cuando son soluciones IoT).	Mercado externo e interno	Falta de financiamiento para proyectos propios (nuevos productos/servicios). Problemas de coordinación con integradores (que se orientan por soluciones importadas). Falta de proveedores locales y dificultad para hacer frente a la competencia extranjera.
	5		Mercado interno, pero busca mercado externo	
IoT	7	Digitalización de un proceso a través de IoT. Montos reducidos (USD 2.000 a 5.000)	Externo	Micromultinacional. Opera en varios países, no tiene foco en el mercado interno. Problemas para importar y exportar, que elude al producir en el exterior, localmente solo desarrollo
	6		Interno, pymes	Falta de financiamiento para proyectos propios Articulación con integradores Falta de conocimiento de los potenciales usuarios

Continúa en la página siguiente.

CUADRO 3. EMPRESAS ENTREVISTADAS SEGÚN TIPO (continuación)

Tipo	Empresa	Monto de inversión	Mercado	Desafíos
Software	9	Digitalización de procesos organizacionales Empresa en la nube Desarrollo y servicios posventa incluyendo nube (AWS)	Externo e interno (medianas y grandes)	Problema de rotación y conseguir profesionales Competencia con mercados internacionales por los recursos humanos Financiamiento de los usuarios, problemas para el pago de servicios de nube por dificultades cambiarias)
	10			

Fuente: elaboración propia con base en las entrevistas realizadas.

3.6. Síntesis de los estudios de caso: hacia una tipología de actores

La figura 1, basada en las entrevistas realizadas y la recopilación de información sobre empresas, sintetiza la composición por tipo de actores y principales relaciones comerciales entre ellos.

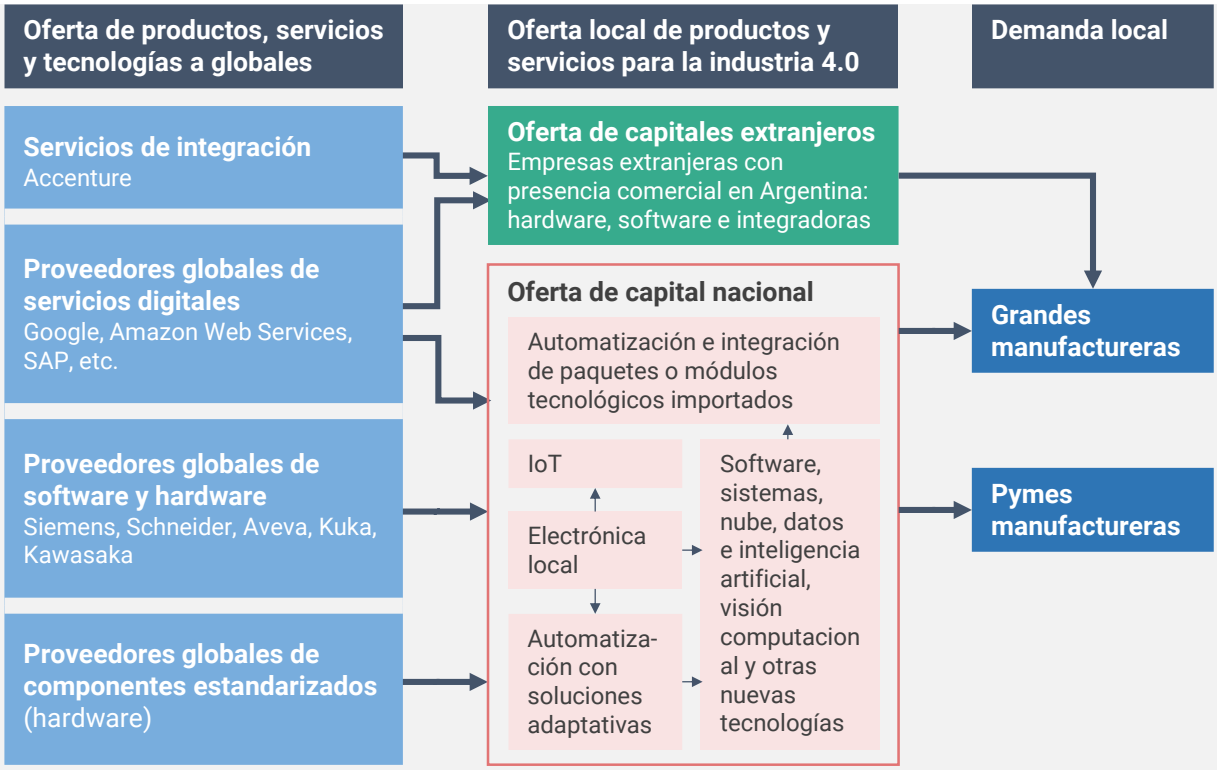
Un primer recorte se puede realizar en la oferta global de productos y servicios. Las empresas extranjeras incluyen a las proveedoras de servicios digitales a través de plataformas globales (Google, Amazon, etcétera), a las de servicios de integración (Accenture entre otras), a las proveedoras de soluciones integradas (Siemens, Schneider Electric, etcétera) o de soluciones parcializadas (hardware o software para su integración en procesos productivos preexistentes) y las proveedoras de hardware estandarizado (PLC, sensores, etcétera). Estas empresas constituyen el sistema tecnológico a nivel global, y son las responsables de las mayores innovaciones en el sector (ver mapa 1 en la sección 2). Se benefician de su posición dominante en un mercado en expansión y de contar con activos tecnológicos estratégicos intangibles (propiedad intelectual y acceso a datos) y tangibles (capacidad manufacturera, redes e infraestructura de comunicación). Estas empresas operan en la frontera tecnológica y exploran en asociación con grandes empresas usuarias y con universidades, centros públicos y privados de investigación nuevos usos para sus productos y tecnologías.

Dentro de la oferta local de productos y servicios de la industria 4.0 pueden distinguirse:

1. Empresas extranjeras que ofrecen desde sus casas matrices –con o sin presencia local– soluciones integrales o productos y servicios específicos para transitar la transformación digital.

2. La oferta doméstica de productos y servicios de industria 4.0, 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.

FIGURA 1. TIPOS DE ACTORES Y PRINCIPALES RELACIONES



Fuente: elaboración propia con base en entrevistas realizadas.

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 (ya sea propia o a través de socios locales) que utilizan para llegar con sus soluciones al mercado argentino, pero solo lo pueden hacer directamente en el segmento de grandes usuarios, que cuentan con la capacidad financiera para afrontar los costos de sus soluciones. También pueden vender productos y servicios (por ejemplo, brazos robóticos, servicios de la nube o motores de inteligencia artificial) de manera parcial 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. La diferencia es que son productos con 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.

A diferencia de las empresas extranjeras, las empresas locales abastecen a la demanda tanto de pequeñas y medianas empresas como de grandes empresas. Esta particularidad es muy relevante en tanto el tipo de actor que las atiende puede ser completamente diferente, así como los procesos de aprendizaje que conlleva y las interacciones sistémicas que se pueden generar.

Ahora bien, entre las empresas locales, se observan al menos cinco tipos: las integradoras, software o soluciones digitales, IoT, electrónica local y de automatización con soluciones adaptativas.

Dentro del grupo de 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 importantes esfuerzos de desarrollo de ingeniería, puesto que las condiciones productivas locales requieren esa adaptación, que de hecho es lo que habilita su nicho de mercado ya que dificulta la importación llave en mano de la solución integral de origen extranjero. 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 (brazo robótico, equipo de control numérico) y dispositivos importados estandarizados (sensores, electrónica de diseño propio, PLC) con servicios de ingeniería y montaje industrial propio, que puede incluir manufactura de piezas, partes y componentes de la línea (bateas, bandejas, tachos, etcétera) o demanda de componentes locales (neumática, motores eléctricos, etcétera).

Dentro del grupo de empresas de IoT se encuentran las firmas con productos de sensorización, recopilación de información y sistematización y presentación de esta información para la toma de decisiones. Estas empresas en general tienen una orientación hacia un producto (por ejemplo la sensorización de redes eléctricas para optimización de consumo), aunque potencialmente pueden explorar otras áreas. En la medida en que se focalizan en desarrollar un producto propio 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. Estas empresas muchas veces se dedican al diseño del hardware que mandan a manufacturar a 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 (por ejemplo, una placa con una función específica *vis à vis* un PLC), 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.

En cuarto lugar, se identificó un grupo de empresas integradoras “adaptativas” diferente del grupo de integradoras de soluciones importadas. Si bien el tipo de solución que proveen es muy

similar a la del primer grupo, en este caso, las caracteriza atender a un mercado más amplio de pymes que no están dispuestas a llevar a cabo cambios radicales de sus procesos sino algunas mejoras adaptativas. Por otro lado, la magnitud de recursos para actualización tecnológica de las pymes obliga a estas empresas a recurrir a dispositivos estandarizados que integren en soluciones de bajo costo.

El último grupo lo constituyen las empresas de software, que son las que ofrecen 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, los gemelos digitales, etc. El sector de software y servicios informáticos hemos visto que ocupa un lugar central en el sistema tecnológico global y nacional de industria 4.0. Esto es así porque incluso en las ramas tecnológicas que recaen sobre dispositivos materiales, requieren de software para su funcionamiento.

3.6.1. Comparación entre casos

Las 10 empresas entrevistadas contribuyen con sus productos y servicios a la oferta doméstica de soluciones para la industria 4.0. Por diseño metodológico, no se incluyeron proveedores globales de servicios y equipamiento, ya que el objetivo de este trabajo apuntó a identificar áreas de intervención de política para potenciar la oferta local de industria 4.0 y sus vínculos con el sector manufacturero nacional. No obstante, las empresas entrevistadas, como señalamos en el apartado anterior, efectivamente articulan con proveedores globales o bien porque integran sus productos y servicios en sus desarrollos específicos o bien porque sus productos contienen componentes o materiales importados. En este sentido, entre las entrevistadas incluimos empresas de automatización e integración de paquetes tecnológicos o módulos importados que combinan de diferente modo con desarrollos propios de software y hardware (empresas 4 y 8),[14] empresas integradoras adaptativas que combinan módulos y componentes importados de forma flexible para empresas medianas (1 y 2), empresas de IoT (6 y 7), empresas de electrónica y dispositivos de desarrollo y producción autóctona (3 y 5) y empresas de desarrollo de software e integración en la nube (9 y 10).

Del análisis de las entrevistas surge como primera observación que la oferta de industria 4.0 doméstica presenta una estructura heterogénea que permite diferentes criterios de clasificación, incluso reconociendo la clasificación precedente basada en su especialización productiva. De hecho, los agrupamientos son diferentes dependiendo del foco de la política pública. Los tres criterios que proponemos para avanzar en su clasificación agregada son los siguientes:[15]

[14] La empresa 8 de hecho es de software, porque es la empresa del grupo que provee la plataforma digital para el montaje industrial, pero como los servicios que comercializan incluyen además horas de ingeniería para diseño industrial y consultoría sobre equipamientos, la colocamos dentro del grupo de empresas integradoras orientadas hacia grandes empresas.

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

1. Si se trata de una empresa *startup* con una especialización de origen en industria 4.0 o si son empresas ya establecidas en el mercado que se diversifican hacia industria 4.0 desde actividades con bases de conocimiento relacionadas (software, automatización, microelectrónica, telecomunicaciones).

2. Si además de adaptar tecnologías importadas la empresa destina parte de sus esfuerzos a crear desarrollos propios escalables y de aplicación flexible en diferentes contextos productivos (explotando las condiciones de KET y GPT del sistema tecnológico de la industria 4.0).

3. 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 impactos diferenciales sobre el entramado productivo local.

En relación con el primer criterio propuesto, se distingue entre *startups* (o empresas nuevas) y empresas ya establecidas en segmentos que se vinculan por su base de conocimiento con la industria 4.0 y que recientemente se diversificaron hacia esta. En el cuadro 4 se presentan características generales de cada tipo de empresa de acuerdo con esta primera clasificación.[16]

El grupo de las *startups* se caracteriza por haber nacido como empresas que ofrecen soluciones comprendidas dentro de las tecnologías de industria 4.0. Es decir, son originales de la etapa de profundización del paradigma de las TIC. En cambio, las empresas ya establecidas que se diversifican hacia industria 4.0 provienen de sectores como software, bienes de capital, equipos y componentes y servicios de ingeniería, electrónica y comunicaciones. Estas actividades contribuyen a la base de conocimiento de la industria 4.0, como deja verse en el análisis de la red global de tecnologías y aplicaciones y son caminos frecuentes de diversificación productiva.

En los casos entrevistados, se observó que las empresas *startup* se ubican principalmente en CABA, mientras que las ya establecidas se localizan tanto en CABA y el conurbano bonaerense como en otras zonas del país con alta densidad industrial. Su radicación depende de su propia historia de haber surgido como empresas proveedoras de bienes y servicios especializados para la industria manufacturera.

En general, las *startups* o nuevas empresas nacen con una mirada global o internacional. Estas empresas identifican que sus servicios nacen en un capitalismo ya globalizado y que las tecnologías digitales les permiten operar, potencialmente, en todo el mundo. De allí que buscan clientes, instalan oficinas y demandan financiamiento a nivel internacional, de modo que crecer a partir de abastecer al mercado interno no es su principal estrategia de negocio. En ocasiones son las propias gigantes digitales las que les acercan oportunidades de negocio en otros países, usualmente de la región. En sentido contrario, las empresas que se diversifican hacia la industria

[16] 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.

4.0 suelen enfocarse en el mercado doméstico siendo la exportación una posibilidad buscada pero no central a su negocio.

CUADRO 4. TIPO DE EMPRESAS LOCALES SEGÚN SECTOR DE ORIGEN

	Startups y nuevas empresas	Diversificados para incluir productos y servicios 4.0
Industria de base	Industria 4.0	Industrias vinculadas (software, electrónica, ingeniería) que generan las competencias básicas para la industria 4.0
Ubicación	Mayor concentración en CABA aunque privilegian trabajo a distancia/home office. En algunos casos muestran localización en otros países.	Mayor dispersión por buscar estar cerca de sus clientes históricos. El caso típico es el de empresas que trabajan con la industria automotriz. En algunos casos muestran localización en otros países.
Mirada o foco del negocio / estrategia	En general, nacen como empresas globales (la empresa 6 es una excepción). 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.). Especialmente en el caso de las empresas 7 y 9	Predomina la integración con multinacionales de la industria 4.0 (Siemens, Schneider, etc.). Especialmente en los casos de las empresas 1, 2, 4 y 8.
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 con base en entrevistas realizadas.

En ambos casos (*startups* y empresas ya establecidas) las empresas locales ocupan posiciones subordinadas en la cadena de valor. En el caso de las empresas que nacen, para dar una oferta de industria 4.0 la integración es muy estrecha con las empresas digitales globales. En particular, ofrecen complementos o adaptaciones a los servicios en la nube que ofrecen estas gigantes (ver el caso de la empresa 9). En términos más abstractos puede decirse que ocupan un lugar subordinado en las cadenas globales o subsistemas de acumulación desempeñando un rol funcional a la estrategia de valorización de la gran empresa tecnológica global.

En el caso del conjunto de empresas cuya oferta se apalanca sobre competencias previas (industria de bienes de capital, montaje e ingeniería industrial) 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 metalmecánicas 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, etcétera) también 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 como por ejemplo de hardware de origen chino con mayor trabajo adaptativo local y con menores precios para el usuario final.

Por último, en materia de dificultades enfrentadas, todas las empresas que están creciendo señalaron la falta de recursos humanos como un limitante. En el caso específico de las *startups* o nuevas empresas se agregan como dificultades las necesidades de financiamiento para seguir expandiéndose y desarrollando productos y las dificultades propias de ser empresas que operan desde Argentina para el exterior y/o insertas en cadenas que son globales y en donde la empresa líder no siempre tiene representación en Argentina. Por su parte, las empresas establecidas se ven afectadas por problemas específicos de sus clientes y las industrias para las que proveen soluciones (la falta de financiamiento es particularmente relevante).

El segundo criterio de clasificación refiere a la tensión entre las estrategias de adaptación o la apuesta a desarrollos propios, cuestión que se vincula con el ya comentado modo de inserción en cadenas globales (ver cuadro 5). La dependencia de las tecnologías globales afecta de un modo u otro a todas las empresas entrevistadas, ya sea porque dependen del software de base, de servicios en la nube o de equipamiento importado. Esta dependencia tiene como punto de partida la posición periférica de la economía argentina y de su rezago tecnológico y productivo, lo que conduce a que las formas de innovación sean del tipo “adopción y difusión tecnológica”. Es decir, las empresas que conforman la oferta doméstica difícilmente propongan innovaciones radicales, sino incrementales basadas en la adaptación de la tecnología a las circunstancias productivas particulares locales. Sin embargo, ello no impide desarrollos tecnológicos propios del tipo adaptativos, claves para la construcción de competencias y para favorecer la difusión tecnológica.

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. De acuerdo con varias empresas entrevistadas, el valor del mix de productos/servicio ofrecido radica en el componente de servicio, ya que ven al hardware como una commodity cuyo precio va decreciendo en el tiempo. La empresa 4, por ejemplo, sostiene la importancia de que el hardware representa menos del 25% del total del proyecto, destacando el valor agregado del servicio de consultoría, ingeniería, diseño e

implementación. Otros orientados a la fabricación de componentes y equipos, como la empresa 3, 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 la empresa 8, que ofrece junto con el servicio de montaje industrial su plataforma de productos de industria 4.0. Específicamente podemos notar que las empresas líderes globales no permean sobre estructuras productivas diversas con productos estandarizados y no parecerían, de momento, tener interés en desarrollar adaptaciones específicas para la manufactura en Argentina. En estos casos, las empresas integradoras ofrecen servicios de diseño y adaptación a los requerimientos de usuarios altamente heterogéneos.

También entre las empresas entrevistadas hay 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 también combinan con servicios de integración bajo diferentes estrategias, por ejemplo, comercialización e integración propia (empresas 3 o 6) o a través de empresas integradoras (empresa 5).

El tipo de estrategia da lugar a diferentes posibilidades de escalado de la solución. 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 competencias previas (aprendizajes logrados en proyectos previos) y en caso de disponer de ellos, sobre desarrollo productivos propios que pueden reutilizar en nuevos contextos –capacidades de manufactura para la producción de herramental en el caso de la empresa 4, plataforma de *smart factory* en el caso de la 8, es decir recursos y capacidades en los términos definidos por Penrose (1959)–. 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. No es entonces difícil de ver por qué, en el caso de las empresas 3 y 5, la competencia frente a productos extranjeros ocupe un lugar alto en la lista de prioridades mientras que en el caso de las empresas integradoras sea una cuestión apenas mencionada habiendo múltiples factores sobre los que portan sus ventajas competitivas además del precio (servicios posventa, consultoría, capacitación, etcétera).

En relación con la clasificación por el tipo de clientes, distinguimos entre empresas que se orientan mayormente a pymes de las que se orientan a grandes empresas (ver cuadro 6). 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. Esto lo podemos observar, por ejemplo, en la empresa 4, que con grandes clientes del sector automotriz trabaja a la par de los departamentos de ingeniería de estas empresas, mientras que su acercamiento a las empresas más pequeñas de maquinaria agrícola está marcado por ser propositivo y demostrar los beneficios de la tecnología y "vender" las soluciones. En este sentido, podemos marcar que las oportunidades de aprendizaje para esta empresa vienen de la mano de las demandas de grandes usuarios, y su rol de difusor y divulgador se cumple en su acercamiento a pequeñas firmas. Esto también ocurre con las empresas 8 y 9, e incluso en la 1 y la 2, aunque estas dos últimas se orientan principalmente a empresas pequeñas. En estos casos, la vinculación con pymes imprime dificultades adicionales referidas a la difusión de información y capacitación, mientras que los riesgos de no concreción de los proyectos son mucho mayores, porque para este segmento los potenciales beneficios no son claros ni están garantizadas las fuentes de financiamiento.

CUADRO 5. 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 (por ejemplo la empresa 8).	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 con base en entrevistas realizadas.

Enfocándonos en clientes actuales y potenciales vemos que es posible clasificar a las empresas de acuerdo con sus potenciales encadenamientos con pymes. Esta clasificación es especialmente relevante pues empresas con altos encadenamientos potenciales debieran contar con instrumentos específicos de política que permitan desarrollarlos de manera de, conjuntamente, fomentar el desarrollo del sector de oferta de soluciones de industria 4.0 y contribuir a reducir las brechas de productividad de sus clientes tanto a nivel local como internacional.

CUADRO 6. TIPO DE EMPRESAS LOCALES SEGÚN EL TIPO DE CLIENTES Y LA POSIBILIDAD DE GENERAR ENCADENAMIENTOS CON PYMES

	Alto potencial de encadenamientos	Bajo potencial de encadenamientos
Dificultades	Problemas de información sobre el alcance de la tecnología, problemas de financiamiento para la adopción	Problemas de bajos encadenamientos y dependencia tecnológica. RR. HH.

Fuente: elaboración propia con base en entrevistas realizadas.

De cada criterio de clasificación emergen problemas específicos señalados por las empresas que pueden guiar la intervención pública. En primer lugar, todas las empresas coinciden en la necesidad de impulsar intervenciones para dar a conocer estas tecnologías y sus efectos sobre las empresas para ampliar la demanda del entramado productivo local.

En segundo lugar, consideran que para lograr impulsar esa adopción es necesario ampliar 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. Entre esas se señaló en diferentes entrevistas la ausencia de conocimientos en programación, mecatrónica o telecomunicaciones.

En tercer lugar, en algunas entrevistas se propuso la creación de un registro de oferentes o un sistema de certificaciones o sellos de calidad ya que es dificultoso desarrollar una oferta local de soluciones para la industria 4.0 cuando algunas empresas brindan trabajos de baja calidad, lo que alienta a los adoptantes a buscar empresas del exterior, lo cual garantiza menores riesgos.

Por último, existe una necesidad muy acuciante para el financiamiento de la adopción de estas tecnologías. Comúnmente las empresas entrevistadas realizan cotizaciones y diseños, pero esos trabajos no logran llevarse a cabo por la ausencia de financiamiento. De hecho, incluso las nuevas generaciones empresarias que tienen preferencias más altas para digitalizar –en oposición a los empresarios más históricos que suelen desconocer o rechazar las tendencias tecnológicas– deciden no avanzar en las operaciones debido a los montos implicados.

Sobre la base de estos resultados, y considerando el análisis de la industria 4.0 general (tanto global como local), en la siguiente sección se abordan propuestas de lineamientos de política que apuntan a proveer soluciones para las dificultades mencionadas realizando una distinción por tipo de empresa, en línea con el análisis realizado en este apartado.

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

En la presente sección, se proponen lineamientos de políticas públicas para el desarrollo del sector de proveedores de soluciones de la industria 4.0, las cuales podrán jugar un rol clave a la hora de acelerar la adopción de tales tecnologías. Estos lineamientos recogen los principales resultados de la investigación haciendo foco sobre la heterogeneidad de tipos de actores y soluciones que existe por el lado de la oferta y por el lado de la demanda.

En la figura 2 se estilizan las tres áreas 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, implica la construcción del marco normativo y de infraestructura que promueva la difusión de estas tecnologías, en un contexto macroeconómico favorable (crecimiento económico, estabilidad de precios y cambiaria), es decir, operar sobre el nivel macro. Por último, a nivel del sistema tecnológico, definido como el conjunto de tecnologías y organizaciones y sus interrelaciones, implican 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.

En lo que sigue, se hará foco en este último eje, en las políticas públicas destinadas a resolver problemas del sistema tecnológico. Esto no implica olvidar la necesidad de políticas para resolver acuciantes problemas dentro de las organizaciones ni en el plano institucional-estructural; por el contrario, esta selección se justifica en el hecho de que políticas orientadas al plano organizacional ya están siendo promovidas a través diferentes acciones públicas y privadas, como por ejemplo a través del instrumento de autoevaluación de madurez digital desarrollado por Indtech, las unidades de transformación digital, y las acciones orientadas a la estandarización de competencias de centros tecnológicos y consultores en transformación digital. Por otra parte, las acciones requeridas en el marco estructural-institucional (por ejemplo, la necesidad de estabilidad macroeconómica) van más allá de la esfera de acción de las políticas de desarrollo productivo. Asimismo, aparecen otras políticas necesarias pero no exclusivas del sector, como la provisión de los llamados bienes públicos y bienes club necesarios como infraestructura para el despliegue de la industria 4.0 (infraestructura digital), regulaciones diversas en los mercados creados por las nuevas tecnologías y avances en la legislación sobre ciberseguridad.[17] Se volverá sobre esto en el apartado 4.2.

[17] De lograrse una adopción generalizada de estas tecnologías algunas áreas del marco institucional y estructural se tornarían muy relevantes y debería atenderse para lograr un mayor impulso y eliminar restricciones. Particularmente, el desarrollo de soluciones de IoT conlleva la necesidad de discutir no solo la ciberseguridad y la privacidad de los datos sino también el rol de las empresas multinacionales de datos y las empresas domésticas competidoras.

FIGURA 2. ÁREAS DE INTERVENCIÓN DE LA POLÍTICA PÚBLICA

A continuación, se presentan dos subsecciones. En la primera, se sintetizan tres grandes ejes que debe reconocer la política pública en relación con el sector, surgidos a partir de la literatura especializada y las entrevistas realizadas: el tamaño de las empresas con oferta para la industria 4.0, la segmentación de esta oferta y 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 industria 4.0, 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, se propone un conjunto acotado de políticas consideradas 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 de políticas para el sector

4.1.1. Pequeño tamaño estructural de las empresas

Las empresas locales de soluciones de industria 4.0 son mayormente pequeñas o medianas. Esto provoca, además de otros rasgos relevantes, que las empresas se encuentren especializadas en alguno de los subsegmentos (software, tecnologías propias de la industria 4.0, IoT, visión computacional y automatización e integradoras). Esta característica se refuerza por la existencia de ciertas tecnologías en manos de multinacionales –en robótica, servicios en la nube, etcétera– 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 industria 4.0. Es decir, por tamaño e historia productiva, el sector de proveedores es –y probablemente continuará siendo– uno de empresas pequeñas y medianas que complementan su oferta con la de otros proveedores nacionales o extranjeros.

Esto es sumamente relevante ya que es un rasgo estructural del aparato productivo que determina la necesidad de realizar políticas públicas de desarrollo del sector de proveedores y que fomenten la adopción, justamente porque su pequeña escala les impide resolver de manera privada algunos de los problemas observados. Por un lado, frente a la problemática vinculada al desconocimiento 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.

4.1.2. Diferentes segmentaciones del mercado de soluciones de la industria 4.0

Es clave reconocer que el mercado local de soluciones de la industria 4.0 está segmentado. Esta segmentación surge de las características de la empresa adoptante con la que se conectan las empresas proveedoras. Como fue señalado correctamente por informantes clave, empresarios y trabajos académicos, las empresas adoptantes más grandes (sean de capital nacional o multinacionales) suelen ya estar operando tecnologías 4.0 de manera más integral, poseen departamentos propios de ingeniería y, dada su escala y capacidad financiera, adquieren soluciones de proveedores globales o de empresas domésticas que tienen sus representaciones. Las dificultades del sector local proveedor de soluciones para acceder a esa demanda no se debe principalmente a la ausencia de capacidades técnicas sino a lógicas de contratación de las grandes empresas que no están dispuestas a "arriesgar" contratando empresas "desconocidas" o no certificadas inclusive si son más económicas. Aquí, en este segmento de mercado, es difícil considerar que las empresas pequeñas y medianas puedan competir frente a estas soluciones, quedando limitadas a su rol integrador o de servicios conexos (por ejemplo: diseño, implementación o mantenimiento). Entonces, difícilmente sea este segmento de mercado el que dinamice el desarrollo de la oferta doméstica de soluciones de la industria 4.0.

Luego, las empresas adoptantes más pequeñas, que en muchos casos ni siquiera suelen estar operando con tecnologías de la generación anterior a la etapa 4.0 –con ausencia de dispositivos de captación de datos, automatización industrial, etcétera–, tampoco demandan servicios y productos de los proveedores locales de estas tecnologías pero por otras razones: costos, escala o adecuación a su proceso productivo actual. En este segmento se cruzan dos cuestiones centrales para la política pública. Por un lado, el rezago productivo es muy marcado y necesita reducirse rápidamente. Por el otro, si se lograra activar esta demanda, la misma se dirigirá esencialmente a los proveedores locales que por flexibilidad y costos pueden adaptar

soluciones. En este sentido, las entrevistas a informantes clave y empresarios surgió que el principal impedimento es, inclusive cuando ya existe hoy una demanda potencial, la falta de financiamiento.

Siguiendo esta línea, quedan demarcados dos grandes "mercados de soluciones de la industria 4.0" 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 pequeñas para empresas locales pequeñas y medianas donde los componentes importados se restringen a equipamiento (sensores, robots, etcétera) 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, etcétera). Este mercado que es extremadamente compatible con el segmento adoptante pyme, se encuentra hoy muy restringido por problemas de financiamiento y conocimiento. 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 equipamiento.[18] 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 por una empresa, hasta 18 meses y 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).

4.1.3. Servicios o soluciones escalables

En tercer lugar, es importante distinguir entre las proveedoras de soluciones de la industria 4.0 –como se desarrolló en el capítulo anterior– 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, etcétera). 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.

[18] 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.

4.1.4. Síntesis de los ejes

El cuadro 7 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 7. FOCO DE POLÍTICA EN FUNCIÓN DE TIPOS DE EMPRESAS OFERENTES Y DEMANDANTES

Demanda / Oferta	*Startups* 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 7 muestra dos casilleros vacíos (coloreados en gris oscuro) que son aquellos que vinculan a las empresas proveedoras locales con grandes empresas (celda 1,3) y su inversa: empresas multinacionales de soluciones que venden a pymes industriales locales (celda 3,1). Tal como se desarrolló previamente, esas vinculaciones no existen de manera general ya que en el primer caso 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 coloreados en naranja (celdas 2,3; 3,2 y 3,3) que describen relaciones existentes y relevantes pero que difícilmente puedan constituirse en objeto de una política de desarrollo de la oferta de industria 4.0 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 línea con la figura 2, en estos casilleros el enfoque debería restringirse a construir el marco regulatorio y macroeconómico para potenciar esas relaciones.

Finalmente, están las cuatro celdas en verde (1,1; 1,2; 2,1 y 2,2), donde deberían concentrarse de manera más urgente las políticas. Aquí se observan 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 señalados la financiación del proceso de adopción acelerado es plenamente posible. Esto permitiría avanzar en reducir las brechas de productividad y competitividad tan acuciantes de Argentina al mismo tiempo que se desarrolla el sector local de soluciones dada la relativa desconexión existente entre estos adoptantes y las multinacionales proveedoras.

En relación con el financiamiento se podrían considerar varios aspectos. Dado el estado tecnológico de la generalidad de las pymes manufactureras argentinas el financiamiento debería destinarse tanto a las etapas previas de adopción de soluciones de industria 4.0, como ser la contratación de consultorías sobre la transformación digital de la empresa tanto como la realización de esos proyectos. En el primer caso, existen diversas formas de cumplir ese objetivo como ser la creación de una red pública de consultores con formación en ingenierías o financiar su adquisición a privados cuyas capacidades estén comprobadas. En el segundo, el principal mecanismo sería la política de créditos. En ambos debe considerarse la amplísima heterogeneidad de los proyectos en tiempo, costo y capacitación requeridos y la modularidad que permite la tecnología.

Ahora bien, el financiamiento, aunque necesario, no es suficiente. Las pymes industriales –particularmente aquellas no vinculadas a una cadena de valor– tienen, como fue presentado en la revisión de la literatura y ha surgido en algunas entrevistas, dos problemas adicionales para adoptar estas tecnologías.

Por un lado, existe un problema de sensibilización sobre las tecnologías, su necesidad e impacto. Es clave avanzar en este sentido 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 en varias oportunidades que con el recambio generacional en la dirección de las empresas muchas veces se busca avanzar con estas tecnologías, es decir: estas tecnologías no son completamente desconocidas. 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 es central la cooperación público-privada 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 para acelerar la adopción.

Por el otro, muchas veces los procesos de adopción se interrumpen o no brindan los resultados esperados por falta de capacidades de la propia empresa adoptante. Muchas veces tales

empresas no cuentan con departamentos de ingeniería o poseen departamentos de mantenimiento muy rudimentarios que no están en condiciones de conocer las propias necesidades de actualización del proceso productivo y mucho menos cuentan con la capacidad de reparar o modificar estas tecnologías. 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 empresas industriales vinculadas a cadena de valor internacional (celdas 2,1 y 2,2) 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 con el diseño e implementación de los proyectos.

4.2. Prioridades de política para la provisión doméstica de soluciones

A partir de este diagnóstico surge una pregunta típica: ¿dónde priorizar? Para articular una respuesta creemos que los ejes para definir dónde focalizar son tres: uno refiere al sector adoptante –dado el objetivo general perseguido por la política industrial de reducir brechas de productividad–, el otro concierne al propio sector de proveedores u oferentes, y un tercero a la búsqueda de alternativas para reducir el costo de la adopción.

El primer ordenador de la política industrial debería ser la urgencia. ¿Qué organizaciones requieren de manera más urgente adoptar estas tecnologías y no tienen forma de hacerlo de manera privada? Aquí la priorización de financiamiento hacia el entramado pyme, particularmente el que no se encuentra vinculado a cadenas de valor, es clara. Dentro de él se pueden pensar, según los recursos, en priorizar 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 y ha sido el principal problema señalado por los empresarios entrevistados. No se vislumbran perspectivas de crecimiento si no se amplía la demanda de soluciones.

Entre las soluciones de industria 4.0 consideramos que, por costo y facilidad de adopción, la prioridad debe encontrarse en la IoT. 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 esa información –aun sin grandes sofisticaciones– puede redundar en mejora de procesos y costos. Pero también como mecanismo de 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.

El tercer eje, la búsqueda de reducción de costos a la adopción, es importante dadas las capacidades financieras limitadas que genera el sesgo de tamaño tanto de proveedores locales como adoptantes priorizados. Aquí surgen algunas posibilidades en paralelos. Por un lado, debería considerarse la realización de convenios con cámaras y gobiernos provinciales para ofrecer en grupos trabajos para diferentes empresas con similares demandas para 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. Conclusiones

El presente informe es el resultado de la investigación llevada a cabo por pedido del Consejo para el Cambio Estructural del entonces Ministerio de Desarrollo Productivo sobre el sector doméstico de provisión de soluciones 4.0 para la industria manufacturera.

Con ese objetivo, en la sección 1 se desarrolló un breve estado del arte sobre la industria 4.0 y los principales debates académicos en torno a su actualidad y perspectivas. Dentro de los debates se destacó la falta de una definición consensual al respecto que, sin embargo, no ha hecho mella sobre su transformación en una agenda de política pública. Asimismo, se destacó que las consecuencias de estas tecnologías no están claras para los países periféricos y que se encuentra relativamente poco desarrollado el estudio de la adopción y, particularmente, de la provisión de estas tecnologías.

En la segunda sección se presentaron las bases conceptuales de estudio junto con el estado actual del mercado global de soluciones para la Industria 4.0, analizando sus principales empresas y competencias a través de redes. Ello nos permitió identificar la red de sectores de origen de la oferta de industria 4.0 a nivel global lo cual contribuyó al objetivo de este trabajo en una doble dimensión. Por un lado, permite acercar una definición de la industria 4.0 que surge de la estructura productiva y de la clasificación propia que hacen las empresas de sí mismas. Al mismo tiempo, esta definición fue utilizada como base para identificar la oferta de industria 4.0 en Argentina en la tercera sección.

A nivel general, en dicha tercera sección se presentaron los resultados específicos del estudio sobre los proveedores locales de soluciones para la industria 4.0. Luego de desarrollar una base de datos con las empresas proveedoras, se construyeron las redes de conocimiento específicas de la oferta de industria 4.0 dentro del país, lo cual nos permitió identificar los nichos dentro de la oferta global en los cuales Argentina posee actualmente capacidades productivas. A partir de este mapa, se seleccionaron diez empresas de distintos clústeres que fueron entrevistadas en profundidad. Con esa información se sistematizó la conformación del sector, sus subsegmentos y rasgos característicos. Se identificaron áreas de vacancia de política pública y debilidades del sector considerando tanto lo presentado en la revisión de literatura para otras partes del mundo como la información de los mapas globales de la sección 1.

Finalmente, en la sección 4 se presentaron las recomendaciones de políticas que surgen de la síntesis de nuestra investigación y que apuntan a contribuir al desarrollo del sector a través de tres ejes y rasgos centrales: 1) su pequeña escala, 2) la segmentación del mercado y 3) las diferencias entre soluciones escalables y servicios.

Anexo 1

CUADRO 8. EMPRESAS *TOP VENDORS*

Nombre de la organi-zación	Descripción corta	Año de ingreso (fundación o M&A)	Localiza-ción de la casa matriz	Cantidad de patentes	Número de adquisi-ciones
NVIDIA	Compañía de procesamiento de datos, innovando en la intersección entre gráficos, computo e inteligencia artificial.	1993	Estados Unidos	más de 500	18
Siemens	Compañía de ingeniería y electrónica especializada en la industria, energía, transporte y medicina.	1847	Alemania	más de 500	74
Intel	Diseña, produce y vende plataformas digitales integradas.	1968	Estados Unidos	más de 500	101
Tesla Motors	Desarrolla una amplia gama de vehículos eléctricos.	2003	Estados Unidos	más de 500	9
Ericsson	Compañía de tecnología que provee y opera redes de telecomunicaciones televisión y servicios relacionados.	1876	Suecia	51-500	38
Black-Berry	Provee dispositivos de conexión inalámbrica y soluciones para telecomunicaciones.	1984	Canadá	más de 500	29
Nokia	Produce dispositivos de comunicaciones móviles y redes.	1865	Finlandia	más de 500	52
SAP	Desarrolla software para compañías en diversos sectores.	1972	Alemania	S/D	48
Zscaler	Desarrolla soluciones de seguridad basadas en la nube.	2008	Estados Unidos	51-500	6
C3 AI	Provee software de inteligencia artificial para la transformación digital.	2009	Estados Unidos	1-50	1
Accenture	Provee servicios y soluciones de consultoría en soluciones digitales.	1989	Irlanda	S/D	208

Continúa en la página siguiente.

CUADRO 8. EMPRESAS *TOP VENDORS* (continuación)

Nombre de la organi-zación	Descripción corta	Año de ingreso (fundación o M&A)	Localiza-ción de la casa matriz	Cantidad de patentes	Número de adquisi-ciones
Google	Especializa en soluciones y productos basados en internet.	1998	Estados Unidos	más de 500	248
IBM	Consultora de tecnología que provee hardware, software e infraestructura digital.	1911	Estados Unidos	más de 500	196
Microsoft	Desarrollo de software en una amplia gama de servicios.	1975	Estados Unidos	más de 500	239
Airtel	Provee soluciones de datos, voz y comunicaciones.	1994	India	S/D	7
Nutanix	Plataforma digital de datos para empresas.	2009	Estados Unidos	51-500	5
Samsara	Pionera en operaciones de nube.	2015	Estados Unidos	1-50	
3D Systems	Soluciones de impresión 3D como impresoras, materiales e imágenes.	1986	Estados Unidos	51-500	31
Xiaomi	Compañía de electrónica y software dedicada a los dispositivos móviles.	2010	China	más de 500	
Infor	Provee software y servicios en el sector de consultoría.	2020	Estados Unidos	S/D	26
Orange	Opera redes móviles en África y Europa así como redes empresariales.	1988	Francia	más de 500	21
Spark Cognition	*Startup* de inteligencia artificial con aplicaciones industriales.	2013	Estados Unidos	1-50	2
Telefónica	Operador de redes de telecomunicaciones.	1924	España	51-500	17
Helium	Desarrolla redes de IoT para transferencia de datos.	2013	Estados Unidos	1-50	
Cisco	Desarrolla y produces equipamiento de redes y Comunicaciones.	1984	Estados Unidos	más de 500	235
Zebra Techno-logies	Líder en impresión, RFID y software.	1969	Estados Unidos	más de 500	22

Continúa en la página siguiente.

CUADRO 8. EMPRESAS *TOP VENDORS* (continuación)

Nombre de la organi-zación	Descripción corta	Año de ingreso (fundación o M&A)	Localiza-ción de la casa matriz	Cantidad de patentes	Número de adquisi-ciones
Schneider Electric	Dedicada a productos eléctricos y automatización.	1836	Francia	más de 500	47
Juniper Networks	Desarrolla servicios e infraestructura de redes.	1996	Estados Unidos	más de 500	29
Amazon Web Services	Provee infraestructura digital y servicios en la nube.	2006	Estados Unidos	S/D	7
PTC	Desarrolla soluciones de software para empresas.	1985	Estados Unidos	51-500	32
Elastic	Desarrolla soluciones de datos en tiempo real.	2012	Estados Unidos	1-50	8
Vuzix	Produce equipamiento de video para diversos usuarios.	1997	Estados Unidos	51-500	
Foxconn Technology Group	Produce equipamiento electrónico.	1974	Taiwán	más de 500	8
ABB	Provee soluciones de automatización.	1988	Suiza	1-50	32
Cognizant	Desarrolla soluciones digitales para empresas.	1994	Estados Unidos	51-500	59
Samsung Electronics	Productora de electrónica de consumo.	1969	Corea del Sur	más de 500	37
Couchbase	Base de datos en la nube.	2011	Estados Unidos	S/D	
Telstra	Provee servicios de telecomunicaciones.	1975	Australia	51-500	20
NEC Corporation	Provee servicios de integración de redes.	1899	Japón	más de 500	8
Alibaba Cloud	Desarrolla soluciones de nube y manejo de datos.	2009	China	S/D	3
Baidu	Motor de búsquedas en internet.	1999	China	más de 500	15
Nozomi Networks	Provee servicios de ciberseguridad.	2013	Estados Unidos	S/D	

Continúa en la página siguiente.

CUADRO 8. EMPRESAS *TOP VENDORS* (continuación)

Nombre de la organi-zación	Descripción corta	Año de ingreso (fundación o M&A)	Localiza-ción de la casa matriz	Cantidad de patentes	Número de adquisi-ciones
Augury	Provee soluciones de en inteligencia artificial en medicina.	2011	Estados Unidos	S/D	1
Micron Technology	Produce semiconductores.	1978	Estados Unidos	más de 500	15
Particle	Produce software y hardware para productos de IoT.	2011	Estados Unidos	S/D	1
Kopin	Produce dispositivos de Comunicaciones.	1984	Estados Unidos	51-500	3
BAE Systems	Desarrolla productos de la industria de defensa.	1999	Reino Unido	S/D	27
Oracle	Desarrolla servicios en la nube para empresas.	1977	Estados Unidos	más de 500	142
Sharp	Produce equipamiento de telecomunicaciones y electrónica.	2016	Japón	más de 500	1
Thyssen-krupp	Produce bienes de capital de uso diverso.	1999	Alemania	más de 500	5

Nota: la selección de empresas está basada en el criterio de selección de las 269 *top vendors* (ver nota al pie), el ranking presentado es el que corresponde a CB (variable CB Rank).

Fuente: elaboración propia con base en CB.

Anexo 2. Guía de entrevista a las empresas

1. Historia productiva de la firma (10 min.)

¿Cuál es la oferta de productos y servicios de la empresa? ¿Desde cuándo tiene la oferta actual? ¿Cómo llegó la empresa a construir esta oferta? ¿Considera que su oferta trae soluciones a lo que se denomina la Industria 4.0? ¿Usted la denomina así? ¿Lo haría en el futuro? ¿Encuentra alguna ventaja en esto?

2. Proyecto tipo (15 min.)

¿Cómo la empresa llega a nuevos clientes? ¿Cuándo logra una nueva venta? ¿Cómo es ese proceso? Cuente como se inicia, desarrolla y termina. ¿Provee servicios posventa? ¿Qué porcentaje de sus trabajadores trabajan desde las locaciones del cliente u otras localizaciones? ¿De qué envergadura son los proyectos que desarrolla la firma (tiempos, costos, personas involucradas)? ¿Articula su oferta con otros proveedores (insumos, servicios, tecnología)? ¿Con quiénes (locales o globales)? ¿Existe una vinculación formal? ¿En qué aspectos del negocio de su cliente considera que el proyecto ha afectado principalmente (productividad, seguridad, calidad, control)?

3. Construcción de competencias (20 min.)

¿Cuál es su formación de base y la de los socios fundadores? ¿Qué otras actividades realizó la empresa en el pasado?. Si es una empresa nueva, ¿los socios fundadores tuvieron otros emprendimientos en el pasado? ¿En qué sectores y ramas de actividad? ¿Gestiona su propia empresa bajo el paradigma de la industria 4.0? ¿Tiene interacción con universidades o centros tecnológicos? ¿Cuál es la interacción con otros proveedores de tecnología? ¿Participa de ferias, hackatones, etc.? ¿Cuál es la relación que tiene la empresa con ciencia abierta y software libre?

¿Qué tipo de perfiles laborales requiere para desarrollar su actividad? ¿Cómo califica el acceso a mano de obra? ¿Cuál es su estrategia de *recruiting*? ¿Realizan actividades de capacitación y formación en sus trabajadores? ¿Cuánto tiempo tarda un trabajador en desarrollar su potencial dentro de la empresa? ¿Cuál es la tasa de rotación de sus trabajadores? ¿Por qué considera que es tan baja/alta?

4. Mercado al que atiende (15 min.)

¿Cuáles son sus principales clientes? ¿En qué ramas están? ¿Son empresas pequeñas, medianas o grandes? ¿Son empresas de capitales extranjeros o nacionales? ¿Le vende a empresas u organismos públicos? ¿Cómo se orientó la empresa a ese mercado? ¿Está radicado en una misma área geográfica que sus clientes? ¿Cuál es la estrategia comercial de la empresa? ¿La empresa exporta? ¿Tiene intención de exportar? ¿Tiene oficinas en otras localizaciones?

¿Con qué objetivo? ¿Conoce a sus competidores? ¿Cómo se diferencia de la oferta de sus competidores? ¿Compite con soluciones de empresas globales? ¿Cuál considera que es la ventaja suya frente a la empresa tecnológica multinacional?

5. Problemas de acceso al mercado y políticas públicas (10 min.)

¿Cuáles considera que son los problemas más importantes para que las empresas adopten soluciones de la industria 4.0? ¿Cuáles son los principales inconvenientes que usted enfrenta a la hora de ofertar sus productos y servicios? ¿Conoce las acciones que el gobierno impulsa en torno a la industria 4.0? ¿En qué áreas considera que deberían orientarse las políticas públicas (financiamiento de proyectos, ferias y actividades de sensibilización, indicadores de madurez digital)?

6. Estrategias de crecimiento y perspectiva hacia el futuro (5 min.)

¿Qué necesita para que su empresa avance?

Referencias

Acemoglu, D. (2002). Directed Technical Change. *The Review of Economic Studies*, *69*(4), pp. 781-809.

Albrieu, R., Basco, A. I., Brest Lopez, C., de Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M. y Vienni, G. (2019). *Travesía 4.0: Hacia la transformación industrial argentina*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). http://dx.doi.org/10.18235/0001731.

Amaral, N., Eng, N., Ospino, C., Pagés, C., Rucci, G. y Williams, N. (2018). *How Far Can Your Skills Take You*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). https://doi.org/10.18235/0001291.

Andreoni, A., Chang, H.-J. y Labrunie, M. (2021). Natura Non Facit Saltus: Challenges and Opportunities for Digital Industrialisation Across Developing Countries. *The European Journal of Development Research*, *33*(2), pp. 330-370. https://doi.org/10.1057/s41287-020-00355-z

Apella, I. y Zunino, G. (2017). *Technological Change and the Labor Market in Argentina and Uruguay: A Task Content Analysis*. World Bank Policy Research Working Paper No. 8215. Social Science Research Network. Disponible en https://papers.ssrn.com/abstract=3051995.

Autor, D. H. (2015). Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. *Journal of Economic Perspectives*, *29*(3), pp. 3-30. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3

Autor, D. H., Levy, F. y Murnane, R. J. (2003). The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, *118*(4), pp. 1279-1333.

Bajari, P., Chernozhukov, V., Hortaçsu, A. y Suzuki, J. (2019). The Impact of Big Data on Firm Performance: An Empirical Investigation. *AEA Papers and Proceedings*, *109*, pp. 33-37. https://doi.org/10.1257/pandp.20191000

Bartis, G. H., y Neira, P. (2020). Las tecnologías de la industria 4.0 en la provincia de Buenos Aires y algunas propuestas para promoverlas. *Propuestas para el Desarrollo*, *IV*, pp. 93-115.

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D. y Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). https://doi.org/10.18235/0001229

Bijker, W. E., Hughes, T. P. y Pinch, T. (2012). *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*. MIT Press.

Bonekamp, L. y Sure, M. (2015). Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organisation. https://www.semanticscholar.org/paper/Consequences-of-Industry-4.0-on-Human-Labour-and-Bonekamp-Sure/79c21635cee1aec94bc5ca44be369bb129556256

Bresnahan, T. (2010). General Purpose Technologies. En B. H. Hall y N. Rosenberg (eds.), *Handbook of the Economics of Innovation* (vol. 2, pp. 761-791). https://doi.org/10.1016/]S0169-7218(10)02002-2

Brixner, C., Isaak, P., Mochi, S., Ozono, M., Suárez, D., y 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), pp. 705-719. https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719642.

Brynjolfsson, E., Mitchell, T. y Rock, D. (2018). What Can Machines Learn and What Does It Mean for Occupations and the Economy? *AEA Papers and Proceedings*, *108*, pp. 43-47. https://doi.org/10.1257/pandp.20181019.

Cantner, U. y Pyka, A. (2001). Classifying Technology Policy from an Evolutionary Perspective. *Research Policy*, *30*(5), pp. 759-775. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00104-9.

Carballa Smichowski, B., Durand, C. y Knauss, S. (2021). Participation in Global Value Chains and Varieties of Development Patterns. *Cambridge Journal of Economics*, *45*(2), pp. 271-294. https://doi.org/10.1093/cje/beaa046.

Carlsson, B., y Stankiewicz, R. (1991). On the Nature, Function and Composition of Technological Systems. *Journal of Evolutionary Economics*, *1*, pp. 93-118. https://doi.org/10.1007/BF01224915.

Carugati, M. I. y Ortíz Ibáñez, M. (2020). *Encuesta Nacional de Dinámica del Empleo y la Innovación. Industria manufacturera. Vinculación con el entorno.* Dirección Nacional de Información Científica (DNIC). Subsecretaría de Estudios y Prospectiva. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/endei_ii_informe_vinculacion_con_el_entorno.pdf.

Casalet, M. (2018). *La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa. Estudios de casos*. Documento de proyectos. Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible en https://repositorio.cepal.org/handle/11362/44266.

Casalet, M., y Stezano, F. (2020). Risks and Opportunities for the Progress of Digitalization in Mexico. *Economics of Innovation and New Technology*, *29*(7), pp. 689-704. https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719643.

Castells, M. (1999). *La era de la información: economía, sociedad y cultura* (vol. 1). Alianza Editorial.

Cepal (2019). Industria 4.0 oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44954/1/S1901011_es.pdf

Chang, H.-J. y Andreoni, A. (2020). Industrial Policy in the 21st Century. *Development and Change*, *51*(2), pp. 324-351. https://doi.org/10.1111/dech.12570.

Chiang, J. T. (1991). From 'Mission-Oriented' to 'Diffusion-Oriented' Paradigm: The New Trend of U.S. Industrial Technology Policy. *Technovation*, *11*(6), pp. 339-356. https://doi.org/10.1016/0166-4972(91)90017-X.

Ciffolilli, A. y Muscio, A. (2018). Industry 4.0: National and Regional Comparative Advantages in Key Enabling Technologies. *European Planning Studies*, *26*(12), pp. 2323-2343. https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1529145.

Deloitte Spain (2016). Índice de Competitividad de la Industria Manufacturera. Disponible en https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/indice-de-competitividad-de-la-industria-manufacturera.html.

Diamandis, P. H. y Kotler, S. (2012). *Abundance: The Future Is Better Than You Think*. Simon and Schuster.

Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, *11*(3), pp. 147-162. https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6.

Dosi, G. y Virgillito, M. E. (2019). Whither the Evolution of the Contemporary Social Fabric? New Technologies and Old Socio-Economic Trends. *International Labour Review*, *158*(4), pp. 593-625. https://doi.org/10.1111/ilr.12145.

Ergas, H. (1986). *Does Technology Policy Matter?* (SSRN Scholarly Paper ID 1428246). *Social Science Research Network*. https://doi.org/10.2139/ssrn.1428246.

Farboodi, M., Mihet, R., Philippon, T. y Veldkamp, L. (2019). Big Data and Firm Dynamics. *AEA Papers and Proceedings*, *109*, pp. 38-42. https://doi.org/10.1257/pandp.20191001.

Fernández Franco, S. y Graña, J. M. (2021). Los enfoques económicos actuales sobre tecnología y empleo. Una crítica a sus omisiones compartidas. *Cuadernos de Relaciones Laborales*, *39*(2), pp. 351-370. https://doi.org/10.5209/crla.71324.

Freeman, C. (1985). The Economics of Innovation. *IEE Proceedings A (Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education, Reviews)*, *132*(4), pp. 213-221. https://doi.org/10.1049/ip-a-1.1985.0044.

Freeman, C. (1988). Japan: A New National System of Innovation? *Technical Change and Economic Theory*. https://ci.nii.ac.jp/naid/10021361291/.

Freeman, C. (1995). Innovation and Growth. En M. Dodgson y R. Rothwell (eds.), *The Handbook of Industrial Innovation.* Edward Elgar Publishing.

Frey, C. B. y Osborne, M. A. (2013). The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, *114*, pp. 254-280. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019.

Gereffi, G. (2014). Global Value Chains in a Post-Washington Consensus World. *Review of International Political Economy*, *21*(1), pp. 9-37. https://doi.org/10.1080/09692290.2012.756414.

Gereffi, G., Bamber, P. y Fernandez-Stark, K. (2016). *Promoting Decent Work in Global Supply Chains in Latin America and the Caribbean*. International Labour Organization (ILO).

Gereffi, G., Humphrey, J. y Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, *12*(1), pp. 78-104. https://doi.org/10.1080/09692290500049805.

Goos, M., Manning, A. y Salomons, A. (2009). Job Polarization in Europe. *American Economic Review*, *99*(2), pp. 58-63. https://doi.org/10.1257/aer.99.2.58.

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A.-L. y Hausmann, R. (2007). The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, *317(5837)*, pp. 482-487. https://doi.org/10.1126/science.1144581.

Kohler, D., y Weisz, J.-D. (2016). The Fourth Industrial Revolution: Points of Rupture? *Annales des Mines - Réalités Industrielles*, *2016*(4), pp. 51-56.

Lundvall, B.-Å. (2016). *The Learning Economy and the Economics of Hope*. Anthem Press. https://doi.org/10.26530/OAPEN_626406.

Mateo, F. W. y Acosta, J. J. (2020). Hacia el desarrollo de oferta de herramientas para el modelo de industria 4.0 en Argentina, análisis de los ecosistemas de innovación y la creación de startups tecnológicas.*Revista Científica, 5*(8), p. 17.

Milberg, W. y Winkler, D. (2013). *Outsourcing Economics: Global Value Chains in Capitalist Development*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139208772.

Ministerio de Desarrollo Productivo (2021). Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0. Políticas para impulsar la adaptación de la Industria Nacional al Paradigma 4.0 y promover el desarrollo de Soluciones Tecnológicas 4.0 en el país. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_desarrollo_productivo_argentina_4.0.vf__2.pdf.

Mokyr, J., Vickers, C. y Ziebarth, N. L. (2015). The History of Technological Anxiety and the Future of Economic Growth: Is This Time Different? *Journal of Economic Perspectives*, *29*(3), pp. 31-50. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.31.

Moncaut, N., Baum, G. y Robert, V. (2021). ¿Qué industria de software promovemos y cuál necesitamos? *Realidad Económica*, *51(340)*, pp. 77-102.

Motta, J., Morero, H. y Ascúa, R. (2019). *Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina*. Documentos de proyectos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org//handle/11362/45033.

Perez, C. (2010). Technological Revolutions and Techno-Economic Paradigms. *Cambridge Journal of Economics, 34(1), pp.* 185-202 https://doi.org/10.1093/cje/bep051.

Perez, C. (2004). Technological Revolutions, Paradigm Shifts and Socio-institutional Change. En E. Reinert (ed.), *Globalization, Economic Development and Inequality*, Edward Elgar Publishing.

Piketty, T. (2015). Putting Distribution Back at the Center of Economics: Reflections on Capital in the Twenty-First Century. *Journal of Economic Perspectives*, *29(1)*, pp. 67-88. https://doi.org/10.1257/jep.29.1.67.

Piva, M. y Vivarelli, M. (2018). Technological Change and Employment: Is Europe Ready for the Challenge? *Eurasian Business Review*, *8*, pp. 13-32. https://doi.org/10.1007/s40821-017-0100-x.

Piyare, R., Murphy, A. L., Kiraly, C., Tosato, P. y Brunelli, D. (2017). Ultra Low Power Wake-Up Radios: A Hardware and Networking Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *19*(4), pp. 2117-2157. https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2728092.

Ponte, S. y Sturgeon, T. (2014). Explaining governance in global value chains: A modular theory-building effort. *Review of International Political Economy*, *21*(1), pp. 195-223. https://doi.org/10.1080/09692290.2013.809596.

Rosenberg, N. (1974). Science, Invention and Economic Growth. *The Economic Journal*, *84*(333), pp. 90-108. https://doi.org/10.2307/2230485.

Sandoval, S. (2015). La cadena global de valor: consideraciones desde el ciclo del capital. *Problemas del desarrollo*. *Revista Latinoamericana de Economía*, *46*(182), pp. 165-190. https://doi.org/10.1016/j.rpd.2015.04.003.

Sandoval, S. V. (2018). Gobernabilidad y ascenso en la cadena de valor: Discusión conceptual. *Análisis Económico*, *27*(66), pp. 7-23.

Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown.

Srnicek, N. (2017). The Challenges of Platform Capitalism: Understanding the Logic of a New Business Model. *Juncture*, *23*(4), pp. 254-257. https://doi.org/10.1111/newe.12023.

Srnicek, N. y Williams, A. (2015). The Future Isn't Working. *Juncture*, *22*(3), pp. 243-247. https://doi.org/10.1111/j.2050-5876.2015.00868.x.

Susskind, R. E., & Susskind, D. (2015). *The Future of the Professions: How Technology Will Transform the Work of Human Experts*. Oxford University Press.

Tegmark, M. (2017). *Life 3.0: Being human in the age of artificial intelligence*. Knopf.

UNCTAD. (2021). *Digital Economy Report 2021*. Cross-border Data Flows and Development: For Whom the Data Flow. Disponible en https://unctad.org/system/files/official-document/der2021_en.pdf.

Vogel-Heuser, B. y Hess, D. (2016). Guest Editorial Industry 4.0–Prerequisites and Visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *13*(2), pp. 411-413. https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2523639.

WEF e IBD (2019). *Supply Chain 4.0: Global Practices and Lessons Learned for Latin America and the Caribbean*. World Economic Forum. Disponible en https://www3.weforum.org/docs/WEF_Supply_Chain_4.0_2019_Report.pdf.

Winter, S. G. y Nelson, R. R. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change.* Universidad de Illinois. Disponible en https://ssrn.com/abstract=1496211.

World Bank Group (2016). *World Development Report 2016: Digital Dividends*. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0671-1.

Wright, G. (1999). Can a Nation Learn? American Technology as a Network Phenomenon. En N.R. Lamoreaux, D.M.G. Raff y P. Temin (eds.), *Learning by Doing in Markets, Firms, and Countries* (pp. 295-332). University of Chicago Press.

Yoguel, G., Xhardez, V. Mochi, S. (2021). *Innovación por coproducción en industria 4.0: un estudio de caso de inteligencia artificial aplicada a imágenes médicas*. Documento de trabajo N° 23. Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI).

ARGENTINA PRODUCTIVA 2030

Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Industria
y Desarrollo Productivo