



Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina

Jorge Motta
Hernán Morero
Rubén Ascúa



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



www.cepal.org/es/publications



www.cepal.org/apps

Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina

Jorge Motta

Hernán Morero

Rubén Ascúa



UNRaf
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
RAFAELA



Esta publicación ha sido elaborada por Hernán Morero, Jorge Motta y Rubén Ascúa, con la colaboración de Hernan Revale, y es parte de un programa de investigación sobre adopción y uso de nuevas tecnologías digitales en mipymes industriales en un conjunto seleccionado de países de América Latina. Dicho programa es liderado por la Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf) de Argentina, bajo la supervisión metodológica de Nicolo Gligo y Marco Dini, de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Esta labor de investigación se inscribe en el marco del proyecto EUROMIPYME “Mejores políticas para las micro, pequeñas y medianas empresas en América Latina”, financiado por la Unión Europea.

Han colaborado en el trabajo de campo las profesoras de la UNRaf Lic. Ana Valentina Fernández y Lic. Josefina Sonnenberg Palmieri. Los autores agradecemos la colaboración prestada por todas las empresas entrevistadas, los distintos funcionarios del Gobierno de la Provincia de Córdoba y de la Municipalidad de Rosario, los diversos expertos en la temática y los representantes de entidades empresariales que amablemente han cedido tiempo y atención para realizar entrevistas y compartir información con el equipo. Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las respectivas organizaciones de pertenencia institucional.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2019/93
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2019
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.19-00952

Esta publicación debe citarse como: J. Motta, H. Moreno y R. Ascúa, “Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2019/93), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Introducción	5
I. Marco de referencia y propuesta metodológica	9
A. Las nuevas tecnologías digitales, las mipymes y la periferia latinoamericana	9
B. Propuesta metodológica	16
II. Las experiencias de adopción de tecnologías 4.0 en mipymes argentinas, sus motivaciones, características y beneficios	21
A. Experiencias de adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes industriales de Córdoba y Santa Fe	21
Empresa A	24
Empresa B	25
Empresa C	25
Empresa D	26
Empresa E	26
Empresa F	26
Empresa G	27
Empresa H	27
Empresa I	28
Empresa J	28
Empresa K	28
Empresa L	29
Empresa M	29
Empresa N	30
Empresa O	30
B. Principales motivaciones para, y beneficios de la adopción de tecnologías 4.0	31
Motivaciones y beneficios caso por caso	32
Las motivaciones y beneficios de la adopción de tecnologías 4.0 en mipymes industriales argentinas	35
C. Características de la adopción de tecnologías 4.0	36
III. Las limitaciones para la incorporación de nuevas tecnologías digitales en mipymes en la Argentina y cómo afrontarlas	39
A. Obstáculos y limitaciones de las mipymes para adoptar nuevas tecnologías digitales	39
Falta de conocimiento de la tecnología	40
Deficiencias en competencias digitales internas	41
Cultura, hábitos organizacionales y resistencia al cambio	42
Reducido volumen de transacciones	44

Dificultad de acceso al financiamiento y tamaño de la inversión	44
Limitaciones de la infraestructura de conectividad	45
Algunas insuficiencias en la oferta de tecnologías 4.0	46
El elevado grado de diversificación productiva de las mipymes industriales en Argentina	47
Baja sofisticación de la demanda y la propia naturaleza de la actividad productiva de la empresa	48
B. Elementos que han permitido a algunas mipymes sortear obstáculos a la introducción de tecnologías 4.0	51
C. Recomendaciones de política	54
IV. Reflexiones de cierre	59
Bibliografía	63
Anexo	65
Cuadros	
Cuadro 1 Trabajo de campo: mipymes industriales estudiadas de Córdoba y Santa Fe.....	20
Cuadro 2 Proyectos de nuevas tecnologías digitales implementados, en implementación o proyección de mipymes industriales estudiadas.....	23
Cuadro 3 Motivaciones y beneficios de los proyectos de nuevas tecnologías digitales de mipymes industriales estudiadas.....	31
Cuadro 4 Obstáculos sorteados y operando caso por caso.....	52
Diagrama	
Diagrama 1 Fases de implementación de las nuevas tecnologías digitales que conforman la industria 4.0.....	12
Recuadros	
Recuadro 1 Las tecnologías 4.0 y el nivel de empleo.....	36
Recuadro 2 Obstáculos identificados en la adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes argentinas.....	40

La extensión de la digitalización impacta en todos los ámbitos sociales y económicos. Las infraestructuras públicas se transforman y los gobiernos de distintos niveles comienzan a migrar buena parte de su actividad *online*. La vida diaria doméstica del ciudadano atraviesa transformaciones que modifican su manera de desenvolverse, consumir, comunicarse, realizar inversiones, planificar actividades y buscar ocupaciones o empleo. Y, fundamentalmente, la digitalización está transformando la esfera de la producción. Diversas denominaciones han emergido para representar una idealización de estas transformaciones en el caso de la planta de una empresa industrial: *smart factory* o “fábrica inteligente”, “manufactura avanzada” o “Ciber fábrica”.

En una “ciberfábrica” la logística, tanto de materiales, componentes, partes y de productos finales, está integrada con los procesos de producción. A lo largo de la cadena de valor, los procesos productivos se optimizan para estar integrados con los sistemas informáticos. Esto incluye el intercambio de información tanto al interior de la empresa, como entre ésta y sus proveedores y clientes. Los proveedores reciben información en tiempo real sobre las necesidades de aprovisionamiento y de los cambios en diseño. Los pedidos de los clientes ingresan al sistema de la empresa con sus especificaciones y tiempos de entrega, activando los procesos productivos, las órdenes de trabajo y el aprovisionamiento de materiales.

Los productos, la automatización y procesos de producción son diseñados de forma virtual en un entorno integrado por la colaboración de productores, usuarios y proveedores de materiales, maquinarias y partes. Los prototipos físicos se reducen a lo mínimo imprescindible, pudiendo imprimirse en 3d piezas, partes o herramental de trabajo que será necesario.

Vehículos de transporte autónomos trabajan con los pedidos que recibe el sistema informático para realizar el *picking* de materiales desde el almacenamiento, sobre la base de los datos de operaciones en tiempo real. Estos vehículos se conectan inalámbricamente entre sí y con el sistema de inventarios, que les dice donde está cada material y cuanto queda disponible, pudiendo optimizar el recorrido para buscarlo e introducirlo en la línea de producción. La logística automatizada, usando robots y vehículos autónomos, ajustan por su cuenta la ubicación de materiales, productos finales y a entregar, en función del flujo de pedidos que recibe de las necesidades de sus clientes y la necesidades de producción para lograr los pedidos acorde a los tiempos y plazos de entrega. El sistema de inventarios está conectado a los datos de afluencia de pedidos y de requerimientos de producción, pudiendo planificar los pedidos de aprovisionamiento a proveedores.

La línea de producción está compuesta por robots automatizados, cooperando con operarios, que reciben las órdenes de trabajo. La comunicación a lo largo del proceso de producción es prácticamente en tiempo real, tanto entre humanos, como entre máquinas, partes y productos. Toda la maquinaria cuenta con sensores que recogen todo tipo de información y datos de producción (desde tiempo de trabajo, materiales necesarios, planos, habilidades necesarias, del personal, medidas de piezas, partes,

temperaturas, herramienta necesario, fallas, paradas, uso de energía eléctrica, etc.), que es almacenada en la nube para aumentar su fácil y rápida disponibilidad desde distintas áreas de la empresa, y recogida por distintos software capaces de procesar enormes cantidades de información.

Robots, máquinas y productos inteligentes se comunican entre sí, tomando decisiones de producción autónomas en base al procesamiento y aprendizaje que permiten ese gigante volumen de datos. Deciden sobre la manera de producir, sobre lo que es mejor y conveniente, sobre la manera de evitar fallas y desajustes del pasado. Los procesos manufactureros se mejoran a través del auto aprendizaje y la auto optimización que realizan los equipos con su software embebido de *machine learning* e inteligencia artificial. El control de calidad se realiza retroalimentándose con datos de producción históricos y en tiempo real.

Cuando recibe la orden de trabajo finalizada, el sistema de logística automatizado recoge los productos finales para canalizarlos en el sistema de distribución. Muchos de ellos cuentan con dispositivos de conectividad, ofreciendo la empresa información de cómo es usado y posibles fallas. El área de servicios de posventa es alertada en tiempo real, de modo de poder ofrecer oportunamente una solución; en tanto que el área de I+D recibe información sobre el uso del producto para la búsqueda de mejoras en su entorno virtual de diseño compartido.

Éste puede parecer un relato de ciencia ficción. Sin embargo, retrata fragmentariamente, por lo menos en algunas áreas o procesos, cambios que realmente las empresas manufactureras están introduciendo en sus fábricas en la actualidad. Su maquinaria comienza a poseer sensores que recogen datos, o le instalan sensores para hacerlo; cuentan o han contratado algún software que les permite construir indicadores para predecir fallas, las tareas de mantenimiento o para tomar decisiones de negocio; han implementado algún control de inventarios en tiempo real; o han impreso en 3d alguna pieza o elemento de trabajo o de exhibición. Son muchas las mejoras de este tipo que están sucediendo en el mundo de la industria.

Estos cambios en la manufactura están asociados a la profundización de la digitalización en la producción. La penetración de las tecnologías digitales, informáticas y de la comunicación en la industria es un fenómeno que viene visualizándose en la industria desde la década de los 1970. Sin embargo, diversos analistas encuentran en la última década la confluencia de una nueva generación de nuevas tecnologías digitales, que pueden cambiar radicalmente la manera de producir industrialmente. Éstas se comprenden dentro del concepto de Industria 4.0.

Industria 4.0 es un concepto para referirse a un conjunto de transformaciones productivas e institucionales, que describe la organización de los procesos de producción basada en las tecnologías de la información y dispositivos comunicados autónomamente entre sí a lo largo de la cadena de valor. Es un modelo, un ideal, de fábrica “inteligente” donde los sistemas computacionales monitorean los procesos manufactureros físicos, creando una copia virtual del mundo físico y tomando decisiones descentralizadas basándose en mecanismos “auto organizativos” (European Parliament, 2016). Los objetos físicos, maquinaria, productos y hasta piezas o partes, están integradas en las redes de información de la empresa: éstos se comunican “en tiempo real” horizontalmente entre sí y verticalmente con clientes, usuarios y proveedores.

La Industria 4.0 está compuesta por extensión de una serie de tecnologías digitales a la manufactura: Internet de las Cosas (*Internet of Things – IoT*), Robótica avanzada y colaborativa; Big Data, Data Science o Data Mining; Computación en la nube (*cloud computing*), Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático (*Machine Learning*), Impresión Aditiva o 3d, Realidad Virtual y Realidad Aumentada, y Otras tecnologías relacionadas,

como la integración de los sistemas informáticos verticalmente (con proveedores o usuarios) y horizontalmente (con otras empresas colaboradoras del sector).

Distintos estudios han estimado el crecimiento macroeconómico que podrían impulsar estas tecnologías a través de su impacto en la productividad. El Estudio de BCG (2015) ha estimado una contribución al crecimiento del PBI de Alemania en un 1% anual por una década. McKinsey (2017) ha calculado que la “transformación digital” en España puede provocar un incremento anual hasta de 2% en su PBI, mientras que Roland Berger (2016) señala que el impacto en el aumento del VAB industrial de Europa puede crecer en 120.000 millones de euros hasta 2025.

Según estudios realizados en países desarrollados, la aplicación de estas nuevas tecnologías en pymes manufactureras les permitió mejorar su productividad, reducir costos de producción, mejorar la calidad de los productos y mejorar su capacidad para introducir innovaciones (Cruz *et al.*, 2015). Las ganancias de eficiencia de la introducción de nuevas tecnologías digitales en la manufactura pueden operar a través del ahorro en tiempos y costos de producción, con el acceso a información en tiempo real sobre el proceso productivo, elevando las posibilidades de predecir problemas y de contar con mayores instrumentos de flexibilidad en la calidad y oferta. Asimismo, obra por una mejor información para la toma de decisiones estratégicas, posibilitando un posicionamiento estratégico personalizado en la clientela, con canales de marketing muy sofisticados, que recogen en tiempo real las percepciones de la demanda y retroalimentan los procesos de desarrollo de la empresa.

Pese a la dificultad de la cuantificación, el Instituto para la Ingeniería de Manufacturas y Automatización (IPA) del Instituto Fraunhofer plantea ganancias de productividad y eficiencia en total entre un 10% y 20% para las plantas industriales digitales (Roland Berger, 2016). Los inventarios podrían reducirse entre un 30% y 50% a través de una gestión en tiempo real; los costos de producción, logística y calidad podrían bajar entre un 10% y un 20% con la introducción de robótica avanzada, cobotics (robots colaborativos), automatización de logística en planta y de testeado en tiempo real; y otro tanto los costos de mantenimiento, con la incorporación de sistemas de predictibilidad de fallas y gestión de tareas de control preventivo.

Sin embargo, la incorporación de nuevas tecnologías digitales ha sido mucho más estudiada en grandes empresas, y especialmente en firmas de sectores tecnológicos y de servicios. El estudio sobre la adopción de nuevas tecnologías digitales en pymes industriales es muy menor, en lo que es una incipiente literatura al respecto y existe allí un gran vacío (Pérez González *et al.*, 2018, Pérez González *et al.*, 2017, WEF, 2016).

Distintos informes de consultoría brindan información fragmentada al respecto (ADEI, 2016, McKinsey, 2017, Roland Berger, 2016) y, con todo, estos antecedentes en pymes se limitan a economías centrales. En cambio, en las economías periféricas el tema no ha sido estudiado sistemáticamente.

El estudio de esta cuestión en la periferia latinoamericana tendrá necesariamente ciertas especificidades e intereses propios. La CEPAL ha tomado históricamente como una necesidad para el desarrollo de las economías de América Latina y Caribe avanzar en procesos cualitativos de cambio estructural con igualdad (CEPAL, 2014, 1990), que logren superar el empantanado en estructuras productivas con baja intensidad tecnológica y escaso dinamismo de largo plazo en el comercio internacional. Esto se manifiesta en que el impacto, oportunidades y desafíos que plantea la economía digital para el cambio estructural en la región sea un tema de interés y estudio (CEPAL, 2013).

El trabajo que acá se presenta es parte de un estudio empírico sobre industria 4.0 y su impacto sobre las mipymes industriales en ciertas regiones de América Latina liderado por la Universidad Nacional de Rafaela en Argentina. Éste, a su vez, integra

el proyecto EUROMIPYME, desarrollado por la CEPAL con el apoyo financiero de la Unión Europea cuyo propósito es mejorar las políticas de fomento de las mipymes. Uno de los ejes de esta iniciativa consiste en evaluar la adopción, uso y apropiación de los beneficios de la “digitalización” en las mipymes latinoamericanas, especialmente manufactureras, con la mira en la formulación de recomendaciones de política para afrontar las dificultades que éstas estén experimentando. Secuencialmente, el proyecto lleva adelante la realización de estudios de casos de mipymes industriales que hayan introducido alguna tecnología 4.0, en un grupo de países de América Latina. Este documento de trabajo presenta los resultados de la realización de este trabajo de campo en la Argentina.

En particular, el objetivo de la investigación ha sido indagar exploratoriamente sobre las motivaciones, beneficios y obstáculos a la introducción de tecnologías 4.0 en mipymes industriales de la Argentina, como un punto de partida para el diseño de políticas.

El estudio de los procesos de adopción de las nuevas tecnologías digitales en pymes manufactureras en la Argentina es aún una nueva temática en la literatura. Se conoce que en nuestro país el grado de difusión de estas nuevas tecnologías, —que están impactando o tienen la potencialidad de impactar, en todas las áreas y funciones de la cadena de valor de las empresas— es aún muy escaso, especialmente entre las pymes (BCG, 2018, 2015). Particularmente, interesa identificar empresas que hayan comenzado a transitar este camino, de modo de poder estudiar en un análisis cualitativo las motivaciones, problemas, desafíos y resultados de sus procesos de incorporación de dichas tecnologías.

Para ello, se ha realizado un estudio cualitativo conformado por una serie de estudios de casos en mipymes industriales de las provincias de Córdoba y Santa Fe, un conjunto de entrevistas a empresas proveedoras de nuevas tecnologías digitales e informantes y expertos en temáticas de industria 4.0 de diversos ámbitos (académicos, gubernamentales, industriales y técnicos).

A continuación, el capítulo I presenta nuestro marco de referencia y la propuesta metodológica. Allí, presentamos algunas ideas y conceptos para definir las nuevas tecnologías digitales, qué grado de estudio hay en la literatura de su nivel de adopción en las mipymes y la importancia de esta temática para economías periféricas como las latinoamericanas. En el capítulo II presentamos los resultados del estudio alrededor de las experiencias de adopción de tecnologías 4.0 en los casos estudiados de mipymes industriales argentinas. Nos centramos en sus motivaciones, las características de los proyectos y qué beneficios les han reportado. El capítulo III aborda las limitaciones que los casos estudiados han tenido para la incorporación de nuevas tecnologías digitales y los obstáculos que se visualizan en otras mipymes, a partir de un estudio cualitativo en proveedores de estas tecnologías y expertos calificados. Diversos obstáculos fueron identificados, evaluamos distintas maneras en que las mipymes han intentado afrontarlos, y de esa evaluación conjunta, ofrecemos algunas recomendaciones de política para mejorar los procesos de adopción de estas tecnologías en empresas de pequeño porte de la Argentina.

A. Las nuevas tecnologías digitales, las mipymes y la periferia latinoamericana

Las nuevas tecnologías digitales se refieren a un conjunto de avances que se han englobado en la idea de Industria 4.0. Este término se ha originado muy recientemente, en 2010 en Alemania, presentado públicamente en la feria industrial Hannover Messe de 2011 (Roland Berger, 2016). Pese a que inicialmente parecía una estrategia de marketing destinada a vender tecnología industrial, luego fue incorporada por el gobierno alemán para diseñar un marco de políticas de competitividad internacional para la industria manufacturera alemana (European Parliament, 2016) y las empresas han ido incorporando muchas de sus soluciones como una manera de mejorar sus sistemas de producción en su lucha competitiva.

Industria 4.0 en general procura representar la incorporación extensiva de las tecnologías digitales a la producción, pero no se trata de un término uniforme. Paralelamente se usan indistintamente conceptos para referirse al fenómeno como “Internet industrial”, “Ciber fábrica” o “fábricas inteligentes”, “Manufactura Avanzada”, “Cuarta revolución industrial” y, por supuesto, “Industria 4.0”. El carácter de “4.0” remite a la presentación de este conjunto de cambios industriales como una “Cuarta Revolución en la Industria”, en una periodización particular de la historia de la industrialización capitalista en cuatro etapas o “Revoluciones”:

La primera de éstas se sitúa desde la segunda mitad del siglo XVIII hasta aproximadamente mediados del siglo XIX, muy representadas por el impacto tecno-productivo que tuvo la introducción de los métodos que surgieron de la mecanización impulsada por vapor, especialmente el sistema fabril de producción. La segunda revolución industrial se relaciona a los impactos de la introducción de innovaciones energéticas (como el gas, el petróleo y la electricidad) en las formas de producir, derivando en los sistemas de producción en masa, la cadena de montaje, en sí, en el fordismo. La tercera revolución industrial se relaciona a la extensión de la electrónica y las tecnologías de la información a la industria y los modos de producción flexible, la producción automatizada, el toyotismo. La aplicación conjunta de una serie de cambios tecnológicos que tienden hacia la automatización inteligente de la industria, representarían una cuarta de estas revoluciones.

Industria 4.0 describe la organización de los procesos de producción basados en tecnología y dispositivos que se comunican autónomamente entre sí a lo largo de la cadena de valor (European Parliament, 2016). Comprende la aparición y extensión de una serie de tecnologías electrónicas e informáticas relacionadas con la Internet y la conectividad. En particular, las siguientes:

- **Internet de las cosas (Internet of things – IoT).** Se trata de la incorporación de sensores y conectividad, tanto a maquinaria para la producción (referido a veces como Internet industrial de las cosas), como inventarios y a productos finales. Esto es, la generación, recolección y almacenamiento de datos (de producción, de uso, de consumo, desperfectos, condiciones ambientales, etc.) susceptibles de ser enviados en tiempo real, tanto a otro dispositivo o equipo, como a un software de procesamiento de datos. Se relaciona a la posibilidad de conectar el

funcionamiento de cualquier maquinaria o equipo online, de modo de que éste pueda estar comunicado con alguna otra máquina (comunicación *machine to machine* o M2M) o monitoreado remotamente. La incorporación de conectividad a productos finales se relaciona con innovaciones de funcionalidad para el usuario, como a la posibilidad de que el productor pueda recibir información en tiempo real del funcionamiento del producto, posibles desperfectos y retroalimentar sus áreas de desarrollo de producto.

- **Robótica avanzada y colaborativa.** Esta mejora se refiere a la introducción de automatización inteligente en equipos de producción, tales como robots altamente autónomos, capaces de tomar decisiones por su cuenta o de comunicarse y tomar decisiones de producción con otros equipos. Incluye lo que se denomina robótica colaborativa (o “cobots”), que son robots diseñados específicamente para interactuar físicamente con humanos (u otros robots) en un ambiente colaborativo de trabajo de manera continua.
- **Big data, data science o data mining.** Son tecnologías que permiten el procesamiento y gestión de enormes volúmenes de datos (de producción, de comportamiento de clientes, etc.) a gran velocidad, especialmente para analítica predictiva. Muchas de las herramientas tradicionales de software no tienen la suficiente potencia para procesar grandes volúmenes de datos provenientes, por ejemplo de redes sociales o de parámetros de producción de la maquinaria. Son aplicaciones del campo de la ciencia de datos, el uso de técnicas de minería de datos y la analítica predictiva. Las aplicaciones en la industria de estos tipos de software permiten la recolección de datos internos de la maquinaria e información de los productos a lo largo de todo su proceso de industrialización y comercialización (p.e. temperatura, tiempo en almacenamiento, localización, desperfectos, tiempo previsto para la comercialización, etc.). A este tipo de información interna, se agrega la información externa a la organización proveniente de los consumidores y clientes (p.e. valoraciones en redes sociales) y de los proveedores, de materias primas e insumos, y de servicios de mantenimiento y de diverso tipo.
- **Computación en la nube (cloud computing).** Comprende el servicio de alojamiento online de todo tipo de información o datos, así como el uso de servicios de software online (p.e. *Software as a Service – SaaS*); todo lo cual es almacenado en servidores de Internet (en lugar de servidores fijos en la empresa). Ello habilita el acceso a la información (o el servicio del software) desde cualquier tipo de dispositivo con conexión a internet. El uso de computación en la nube en la industria posibilita almacenar el enorme volumen de datos e información que viabilizan la aplicación de big data, y acceder a esos datos prácticamente en tiempo real, desde dispositivos móviles o centros de control. Posibilita, por ejemplo, acceder en tiempo real al estado de inventarios, manejar a distancia maquinaria o controlar algunas fases del proceso productivo.
- **Inteligencia artificial y aprendizaje automático (Machine learning).** Se refiere a los desarrollos de software capaces de aprender progresivamente mejorando su desempeño. Pueden incorporarse embebidos en alguna maquinaria o equipo, dónde el software controlador de alguna tarea del mismo, recurre a diversos algoritmos y métodos estadísticos para procesar los datos de su funcionamiento para ir mejorando el desempeño de alguna tarea.
- **Impresión Aditiva o 3d.** Se trata de una tecnología que permite imprimir objetos físicos en tres dimensiones, a partir de modelos digitales, con una altísima personalización o escalas muy bajas. Las aplicaciones industriales de esta tecnología son variadas, muy especialmente para el diseño de prototipos de productos finales, pero también de maquinaria y piezas.

- **Realidad virtual y realidad aumentada.** A través del uso de diversos dispositivos de visualización y de sentidos (cascos, lentes, guantes, omnis¹), se puede generar un entorno virtual, que posibilita simular un entorno particular y situaciones concretas. Ello ofrece al mundo industrial posibilidades de aplicación para aprendizaje y capacitación virtual, en situaciones seguras. Las simulaciones en 3d de productos, procesos productivos y materiales actualmente se utilizan en diversas tareas de la fase de ingeniería. Aunque también podrían usarse extensivamente en las operaciones rutinarias de planta del mismo modo, por ejemplo, simulando en tiempo real las condiciones de producción, para testear y optimizar (virtualmente) las configuraciones de la maquinaria para la fabricación (real) del próximo producto en la línea (BCG, 2015). Asimismo, a través de distintos dispositivos de visualización aumentada se puede acceder a diversos tipos de servicios, como por ejemplo la selección de piezas en un almacén o el acceso a instrucciones de reparación que se visualizan sobre el equipo a reparar.
- **Otras tecnologías relacionadas.** Autores diversos incluyen otras mejoras, entre las que pueden mencionarse, el *Blockchain*, de gran potencial para optimizar la trazabilidad de información (Pérez González, *et al.*, 2018), algunos incluyen a la propia integración de los sistemas informáticos verticalmente (con proveedores o usuarios) y horizontalmente (con otras empresas colaboradoras del sector), y a los desarrollos de software para ciberseguridad para los sistemas de gestión y de producción (BCG, 2015).

El carácter revolucionario y disruptivo de la aplicación de estas tecnologías en la producción es aún una historia abierta y, por lo pronto, queda dentro de lo discursivo. Más aún, es materia de debate si este conjunto de tecnologías conducirá a un nuevo proceso de cambio cualitativo o si se trata simplemente de una profundización de la aplicación del paradigma de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

De hecho, la periodización con la que se publicita el concepto de Industria 4.0 es cuestionable desde un punto de vista académico, y aparece como una sobre simplificación al caracterizar las revoluciones industriales (European Parliament, 2016). Carlota Perez (2010) periodiza la historia capitalista en cinco revoluciones tecnológicas sucesivas desde 1770 y paradigmas tecno-económicos que los caracterizan: la primera caracterizada por la mecanización de la industria del algodón, la producción fabril y la energía hidráulica; la segunda desde 1829, la Era del Vapor y los Ferrocarriles, con la producción a gran escala; la tercera revolución desde 1875 como la Era del Acero, Electricidad e Ingeniería Pesada, con la introducción de la estandarización a la producción; la cuarta desde 1908 como la era del petróleo y la producción en masa; y la quinta como la era de la informática y las telecomunicaciones desde 1971 y las formas de producción flexible². Esta periodización se basa en el estudio de las ondas largas de crecimiento del capitalismo. Si la “Internet Industrial” acaba revolucionando las formas sociales y de producción, correspondería con una sexta revolución en el estudio de Perez (2010).

Pese a que sea aún dudoso que la manufactura avanzada vaya a representar “la próxima gran ola de innovación” (Castillo, 2017) y de que no exista base histórica que sustente la periodización con la que se publicita la Industria 4.0, el conjunto de nuevas tecnologías digitales que engloba, realmente se está expandiendo por las prácticas productivas industriales a nivel global y de un modo bastante vertiginoso. En ese sentido, no hay que desconocer el profundo potencial transformador de las formas de producción que traería aparejada la adopción masiva de estas tecnologías. Por tanto,

¹ Un Omni se trata de un dispositivo para realidad virtual que permite el desplazamiento del usuario sobre una misma superficie en todas las direcciones.

² Las fechas, tan precisas, remiten concretamente a un invento en particular, como un “big bang que inicia la revolución” (Perez, 2010).

se usará el término en este documento por convención e instrumentalmente, para referirnos a este conjunto de tecnologías.

Por otro lado, aunque la adopción de las nuevas tecnologías digitales se presente de forma “binaria” (se implementó/no se implementó) y que éstas se suceden por “etapas”; en la realidad existen diversos grados de adopción. Alfonso Ruiz *et al.* (2018) plantean que existen una secuencia de tres “fases” de implementación, en lugar de una adopción “integral” y “de una vez” de la Industria 4.0: una fase inicial, una de implementación y una avanzada de expansión. La que discutiremos a continuación de describirla brevemente.

Diagrama 1
Fases de implementación de las nuevas tecnologías digitales que conforman la industria 4.0

Fases	Descripción	Implementaciones características
Fase inicial	Establecimiento de la infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de hardware para automatización de procesos, conectividad y almacenamiento de datos (Sensores, PLCs, pantallas HMI, routers wifi, etc.) • Instalación de software de gestión tradicional (ERP, GMAO, CRM, MRP, etc.)
Fase de implementación	Digitalización y extracción de la información	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de sistemas de recopilación de datos • Generación de Indicadores • Control Centralizado de la Información • Integración de Robots
Fase de expansión	Fabricación inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Software de Big Data y Análítica Predictiva • Internet de las Cosas • Impresión Aditiva • Realidad virtual y realidad aumentada

Fuente: Elaboración en base a Alfonso Ruiz, *et al.* (2018).

La fase inicial está compuesta por el establecimiento de una estructura física encaminada a la posterior explotación de la información. Por un lado, incluye toda la instalación de hardware y equipos básicos para la recolección de datos (como PLCs y sensores en la maquinaria), para la interfaz máquina-hombre (tales como pantallas HMI) y para la conectividad (placas de conectividad de máquinas, routers wifi, contratación de banda ancha, instalación de servidores, etc.). Por otro lado, incluye la instalación de software de gestión tradicionales, tales como ERP, MPR (gestión de requisitos de materiales, CRM, GMAO (gestión de mantenimiento asistido), etc.

Luego, sigue la fase de implementación, centrada en profundizar la digitalización y el manejo de la información recolectada y acumulada por el equipo e infraestructura instalada. Tiene el objeto de analizarla para establecer acciones de mejora y aumentar el control automático de los procesos. Por ello incluye la integración de los robots disponibles con los sistemas de información, la instalación de sistemas que pueden recopilar los datos de los sensores y diversas áreas, así como generar indicadores de diverso tipo en tiempo real y el desarrollo de mecanismos de centralización de la información.

Por último, la fase avanzada o de expansión, es donde se aplican las técnicas de inteligencia predictiva a las áreas de la empresa. Ello involucra la generación de sistemas autónomos que interactúan con el entorno y son capaces de predecir funcionamientos y actuar en respuesta y retroalimentación a ello. Es la etapa donde entran en funcionamiento los software de grandes datos y analítica predictiva, el uso efectivo de la internet de las cosas y, si es pertinente, el uso de impresión aditiva y de tecnologías de realidad virtual o aumentada.

Esta estilización en “etapas” o “fases” de adopción hace a la construcción de una conceptualización completa de ciberfábrica, donde existe una secuencia prácticamente lineal desde unos tipos de mejoras hacia otras y se arriba a un estadio de esa noción ideal de Industria 4.0. Si bien tiene alguna utilidad para entender ciertas características del proceso de adopción de tecnologías 4.0, no siempre parece adecuarse a la realidad, donde las estrategias de adopción de nuevas tecnologías responden a un haz de factores donde ciertos grados de adopción son competitivamente ventajosos o rentables, y dónde la adopción integral de todos los tipos de nuevas tecnologías digitales muchas veces no cobra sentido.

Ello es así porque, en la práctica pueden ocurrir dos situaciones: 1) Es posible que las empresas adopten una cierta tecnología, pero sea relevante aplicarlo sólo a un área o a un grupo limitado de etapas del proceso productivo, y no a otras áreas o etapas del proceso; y 2) Es posible que sea productivo y rentable para la empresa aplicar algunas de estas tecnologías (pertenecientes a cualquiera de las tres fases estilizadas) y no otras de las nuevas tecnologías digitales.

A la estilización por fases de adopción, aunque sea aplicada sólo a un grupo limitado de etapas del proceso productivo, subyace la idea de que el proceso de adopción comienza con la instalación de infraestructura, sigue con la digitalización y extracción de información, y culmina con el ingreso luego en la tercera fase, de fabricación inteligente. Ello podría ser cierto para una determinada tecnología, por ejemplo IoT, en un área en particular, como ser mantenimiento preventivo de equipamiento. Pero en otras áreas (producción, etc.) la adopción de dicha tecnología podría estar en una etapa muy distinta, o no haber ningún plan de incorporarla. Entonces tenemos que para una misma tecnología, el grado de avance o fase de implementación de la tecnología al interior de la misma empresa sea diferente, dependiendo de la etapa del proceso productivo que estemos considerando.

Por otro lado, en algunos casos, las inversiones realizadas en infraestructura y digitalización pueden permitir a una empresa exhibir una cierta evolución en su grado de adopción de tecnologías 4.0, pero el intento de profundizar en la aplicación de dichas tecnologías puede requerir inversiones adicionales típicas de la fase inicial identificada por Alfonso Ruiz et al (2018). En estos casos, es sumamente engorroso y confuso querer señalar en qué fase de implementación de la tecnología está la empresa.

Finalmente, el objetivo estratégico de la empresa puede no ser el de llegar a generar sistemas autónomos que interactúen con el entorno, sino simplemente generar información en tiempo real para la toma de decisiones o solucionar una necesidad puntual. Por ejemplo, debido a la reducida escala de producción, puede no ser rentable instalar sistemas autónomos. En estos casos, no es aplicable que los mayores beneficios de la incorporación de las nuevas tecnologías digitales aparezcan, necesariamente en la denominada “etapa de expansión”. Dicha etapa podría, de hecho, no existir.

Sin embargo, pese a sus potencialidades y particularidades, existe un gran vacío en la literatura de estudios sobre la adopción de tecnologías 4.0 en mipymes industriales (Pérez González, *et al.*, 2018, Pérez González, *et al.*, 2017, WEF, 2016). Se cuenta con trabajos que realizan previsiones o especulaciones acerca de cuál será el rol de las pequeñas empresas, informes que realizan encuestas de opinión en una muestra de empresas donde se señala la participación de pymes y algunos estudios de casos y relevamientos muy preliminares.

Algunos estudios (European Parliament, 2016) señalan que quienes están liderando la implementación de iniciativas 4.0 son las grandes empresas manufactureras a las que responden las mipymes como proveedoras en sus cadenas globales de producción. En ello, el rol de las mipymes es adaptarse a la presión competitiva que les exigen

las empresas multinacionales (EMNs). Otros estudios ven el rol de las pymes de una forma más optimista (Roland Berger, 2016), donde estas nuevas tecnologías digitales les ofrecen la oportunidad de aligerar las barreras a la entrada en segmentos de producción y cadenas de valor de alta complejidad. Más allá de las previsiones de estos informes, el estudio sobre la adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes industriales es muy menor, en lo que es una incipiente literatura al respecto.

La incorporación de nuevas tecnologías digitales ha sido mucho más estudiada en grandes empresas, y especialmente en firmas de sectores tecnológicos y de servicios. Algunos trabajos han realizado relevamientos de perspectivas y de situación, no específicamente en mipymes industriales. Por ejemplo, Roland Berger (2016) ha realizado una encuesta en empresas españolas sobre la transformación digital, donde se destaca que sólo el 10% de estas firmas industriales (tanto grandes como pequeñas) cuentan con una estrategia digital formalizada. Por otra parte, el estudio señala que en un porcentaje importante de las pymes españolas dominan los usos digitales básicos, pero sin distinguirlas por sector de actividad. El estudio de McKinsey (2017) arriba a conclusiones similares sobre las pymes españolas en materia de adopción digital: con un rezago con respecto a las grandes en la obtención de ingresos por e-commerce, ventas online, el uso de aprovisionamiento online e implementación de sistemas de gestión de relación con los clientes (CRM). Este relevamiento tampoco particulariza a las mipymes industriales, sino que es más bien descriptivo del nivel de digitalización de las mipymes. Luego, algunos trabajos realizan la presentación de casos de estudio sectores particulares, tales como el estado de avance en la industria alimenticia y automotriz española (ADEI, 2016).

Pérez González, *et al.* (2018) han procurado estudiar el grado de conocimiento de las nuevas tecnologías digitales y las principales barreras para su incorporación en unas 60 pymes industriales españolas de la región de Cantabria. Sus resultados mostraron un bajo conocimiento de la transformación digital en pymes industriales, en el contexto de una región de un país desarrollado de Europa. Además, la más importante barrera al avance de la incorporación de nuevas tecnologías digitales es que este tipo de pymes no lo considera prioritario o necesario en su actividad competitiva y productiva, seguido de la relación costo-beneficio de las inversiones necesarias.

Con todo, los incipientes antecedentes que abordan el avance de la nueva digitalización en mipymes se acotan a economías desarrolladas, y el tema se ha estudiado incipientemente en economías periféricas. Mayoritariamente, los trabajos e informes identificados se acotan a la presentación de casos de grandes empresas y promocionar el concepto de 4.0. Uno de los avances más importantes en esta dirección ha sido la encuesta realizada por INTAL-BID, CIPPEC y UIA recientemente a empresas industriales de la Argentina (Albrieu *et al.*, 2019). La encuesta logró una muestra de 307 empresas industriales de 6 sectores productivos (alimenticia, siderurgia y metalmecánica, automotriz y autopartes, maquinaria agrícola y biofarmacéutica), con una alta proporción de mipymes. Los resultados corroboran un bajo nivel de adopción, con tres grupos diferenciados: sólo un 6% de la muestra ha incorporado tecnologías 4.0 en alguna área funcional, un 45% que cuenta con niveles tecnológicos de “tercera generación” y cerca de la mitad de la muestra “rezagadas”, con tecnologías de “primera y segunda generación”. Ninguna empresa de la muestra ha incorporado nuevas tecnologías digitales en más de 3 áreas funcionales.

Necesariamente estudiar estas cuestiones tendrá ciertas particularidades en la periferia latinoamericana, donde la necesidad de avanzar en procesos cualitativos de cambio estructural con igualdad, se torna un aspecto relevante para el desarrollo de sus economías (CEPAL, 2014, 1990). Esto se manifiesta en que el impacto, oportunidades y desafíos que plantea la economía digital para el cambio estructural en la región sea un tema de interés y estudio (CEPAL, 2013).

La evidencia internacional corrobora que los procesos de desarrollo, tanto a nivel regional como nacional, pueden entenderse como procesos de cambio estructural (CEPAL, 2014, 2007, Fajnzylber, 1990). Esto se verifica en las formas que tanto los países centrales como las economías recientemente industrializadas han llegado históricamente a su estadio actual de desarrollo y autonomía económica (Amsden, 1992, 2004, Chang, 2002, 2003, 2013).

De no mediar intervención pública, las fuerzas de mercado liberalizadas llevan a que las características de las estructuras económicas de los países centrales y periféricos se refuercen mutuamente, perpetuando el subdesarrollo. Por tanto, el estadio de desarrollo de las economías periféricas, y las latinoamericanas en particular, no se caracteriza por un “atraso relativo”, sino por su dependencia. Esta dependencia se particulariza por dos aspectos que son su limitada capacidad de generar y difundir cambio técnico en su economía y su heterogeneidad estructural (Cimoli, 2005).

Es decir, no sólo su capacidad de emancipación económica está fuertemente condicionada por una estructura productiva poco especializada en sectores de media/alta tecnología capaz de producir conocimiento y cambio tecnológico. Además, los sectores operan con segmentos heterogéneamente disímiles (Pinto, 1965, 1976), en productividad, métodos de producción, etc. Ello lleva a que esfuerzos descentralizados de crecimiento, con una intervención del Estado que no apunte a dirigirlo, direccionarlo o redistribuir oportunidades, sino sólo a acompañarlo mediante acciones públicas horizontales, tiendan a reforzar la posición económica de los segmentos y empresas mejor acomodadas *ex ante* de la estructura económica. Ello perpetúa las condiciones de desigualdad, con sus consecuentes efectos sobre la concentración de ingresos.

Y el impacto de la digitalización tiene mucho para decir respecto a los dos aspectos. En primer lugar, su expansión se va a vincular al crecimiento de sectores y actividades que pueden colaborar en la complejidad de la estructura productiva. Asimismo, la posibilidad de generar un *upgrading* tecnológico de sectores tradicionales. En segundo lugar, en estructuras productivas latinoamericanas donde ya las desigualdades intrasector son muy marcadas y son una limitante al desarrollo, la digitalización abre una señal de alarma de la medida en que colaborará a expandir estas brechas entre sectores económicos acomodados o a reducirlas. En el caso de Argentina, por ejemplo, un estudio reciente (Basco *et al.*, 2018) señala que son los sectores exportadores los que muestran una mayor adopción de las tecnologías de la industria 4.0, lo que aumenta la brecha de productividad con otras actividades de sectores menos poderosos, como las no de transables. Por otro lado, el mismo estudio señala que las previsiones de adopción son muy heterogéneas y disímiles acorde al tamaño de la empresa, por lo que la consideración de las mipymes nos llama a la atención. La anticipación a estos problemas es un factor de intervención selectiva a tener en cuenta.

Un punto de partida para el diseño de intervenciones específicas es estudiar los obstáculos concretos que tienen las mipymes industriales. La motivación de la presente investigación es estudiar este aspecto en empresas que realmente hayan comenzado a implementar nuevas tecnologías digitales. En particular, el objetivo de la investigación de este Documento ha sido indagar exploratoriamente sobre las motivaciones, beneficios y obstáculos a la introducción de tecnologías 4.0 en mipymes industriales de la Argentina, como un punto de partida para el diseño de políticas.

B. Propuesta metodológica

El presente estudio parte de ciertas premisas sobre el grado de adopción y uso de nuevas tecnologías digitales en base a un conocimiento previo de la economía industrial en la periferia latinoamericana y estudios en mipymes. En particular, en tanto la idea inicial es que en ellas se mantiene el rezago en la adopción de las tecnologías que se corresponden con la digitalización y automatización “tradicional” con respecto a similares firmas de economías centrales; se parte de que la adopción y preparación que éstas tienen para las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 es entre baja y nula. En este contexto, cobra poco sentido un abordaje cuantitativo y un relevamiento a través de encuestas a elevada escala.

Esto es porque serán excesivamente bajas las frecuencias en las respuestas de una encuesta destinada a medir el nivel de incorporación de las tecnologías en las mipymes en base a una muestra representativa, lo que agrega poco conocimiento sobre el tema en la región. Pero, además, una muestra representativa de la industria, incluso a través de entrevistas o encuestas de preguntas abiertas, acabaría por relevar esencialmente perspectivas y apreciaciones empresariales sobre industria 4.0 en una inmensa mayoría de casos que no han iniciado o evaluado iniciar algún proceso de incorporación.

Por ello, la propuesta metodológica del presente estudio es de corte cualitativo (Eisenhardt, 1989, Yin, 2009), diseñada para indagar exploratoriamente sobre las motivaciones, beneficios y obstáculos a la introducción de tecnologías 4.0 en mipymes industriales de la Argentina. La temática de investigación y características de la población de estudio hacen necesaria una muestra deliberadamente sesgada, acorde a los estándares de investigación cualitativa, en esta oportunidad con el objeto de identificar mipymes industriales que hayan implementado o estén en proceso de implementación de nuevas tecnologías digitales en Córdoba y Santa Fe.

Las fuentes de información fueron de carácter primario, en primer lugar, en base a entrevistas a empresas usuarias, proveedores e informantes calificados, y, en segundo lugar, y de modo complementarios, de carácter secundario, en especial bibliografía e informes para aproximarse comparativamente a la situación de grandes empresas.

El diseño de instrumentos del trabajo de campo ha seguido los lineamientos del Documento de Trabajo del Proyecto Euromipyme conducido por la CEPAL, como guía metodológica para la captación de la adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes latinoamericanas (Gligo, 2018). De esta forma se han diseñado dos tipos de instrumentos de entrevistas centrados en motivaciones, beneficios y obstáculos para la implementación en mipymes industriales: entrevistas a las propias empresas implementadoras y entrevistas a los proveedores locales de estos tipos de mejoras. Este diseño permite un conocimiento acerca de la demanda *realmente existente* desde mipymes industriales actualmente usuarias o demandantes de este tipo de tecnologías; y un conocimiento acerca de las limitaciones y obstáculos tanto de los actuales demandantes, como de la demanda potencial y actualmente inexistente de las mismas, a partir de la percepción de los propios oferentes de estas tecnologías.

Mientras las encuestas tradicionales sobre digitalización y TICs en empresas incorporan preguntas tales como número de computadores, conexión a Internet, uso de página web, banda ancha, dispositivos móviles y redes sociales (tecnologías digitales “maduras”), nuestro diseño indaga sobre las tecnologías digitales “nuevas”, que se suelen asociar a conceptos tales como Industria 4.0, Manufactura Avanzada, Cuarta Revolución Industrial, Transformación Digital, etc. como hemos estilizado en la subsección anterior. A priori, se definió un conjunto específico de tipos de tecnologías para consultar en preguntas semi-abiertas y cerradas: i) Sensores e Internet de las cosas; ii) Robótica avanzada;

iii) Impresión aditiva / 3D; iv) Computación en la nube; v) Analítica de grandes datos (big data); vi) Inteligencia Artificial; y v) Otras a especificar³.

Dentro de estos tipos de nuevas tecnologías digitales, se caracterizó en particular brevemente el/los proyectos implementados o en evaluación, a qué áreas o en que funciones de la empresa fue aplicado (Producción, Innovación y diseño de productos, Logística de entrada y relación con proveedores, Marketing y relación con clientes u Otra área), origen de la tecnología y fuentes de la información, si involucró una inversión o una contratación de un servicio, su fecha de implementación o contratación, uso u objetivo del proyecto.

Las entrevistas luego pasaron a profundizar la indagación sobre un número acotado de proyectos considerados como los más relevantes o representativos (por lo general uno). En este se procuraron identificar aquellos elementos que han sido relevantes en el proceso de incorporación y uso de las nuevas tecnologías digitales (motivaciones, sus beneficios, obstáculos y/o facilitadores).

Las motivaciones y beneficios se recabaron en particular y según una estilización que calificaba de 1 a 4 (1 principales razones, 2 Relevante, pero no la principal razón, 3 poco o no relevante, 4 no aplica) las siguientes: Mejorar eficiencia de una función o proceso, Ahorro de costos, Reemplazo de personal, Mejorar la calidad, Mejorar relación con clientes, Mejora relación con proveedores, Desarrollo de nuevo producto o nuevos servicios asociados, y Desarrollo de nuevo modelo de negocios.

Luego de una caracterización del proceso de implementación, se indagó sobre los principales problemas u obstáculos que debieron superar y la forma de sortearlos, o si éstos siguen operando como barreras. En ello se distinguieron más estandarizadamente (y asimismo calificando de 1 a 4 de la misma manera que los beneficios) los obstáculos en internos a la empresa (desconocimiento sobre la tecnología, falta de interés / otros proyectos más urgentes requieren atención, falta de interés / evaluación beneficio-costo negativa, no se disponen de los recursos humanos calificados para la implementación, no se dispone de los recursos financieros necesarios para la inversión, no se dispone de la infraestructura y conectividad interna necesaria, otros a especificar) y en obstáculos externos a la empresa (tecnología poco madura, faltan proveedores de productos o servicios tecnológicos, falta oferta de financiamiento o condiciones de financiamiento no son adecuadas, poca disponibilidad en mercado laboral de personal calificado, sistema de formación y capacitación insuficiente para nuevos requerimientos, infraestructura de información y comunicaciones débil o insuficiente, contexto macroeconómico, inestabilidad de la economía).

Finalmente, las entrevistas se centraron en tratar de identificar cuestiones de modos de financiamiento, y tipos de ayuda de naturaleza no financiera (p.e. apoyo de sector público, académico u organizaciones empresariales).

En los casos donde la empresa se encuentra en etapa de evaluación de un proyecto, todas estas mismas cuestiones fueron indagadas sobre la percepción a futuro.

Las entrevistas a empresas tuvieron una duración de entre una y dos horas, con una duración menor para el caso de informantes y proveedores de nuevas tecnologías digitales. En éste último caso, las entrevistas estuvieron diseñadas sobre las características de su oferta y sobre sus percepciones sobre las limitaciones de sus clientes para demandar sus productos, con foco en los obstáculos que afrontan sus clientes actuales o potenciales que sean mipymes industriales locales. El trabajo de campo completo involucró 45 entrevistas a 30 empresas y a 15 informantes. Entre las empresas se incluyen 15 mipymes industriales usuarias e implementadoras de nuevas tecnologías digitales (que son los casos de estudio), 14 proveedores locales de este tipo de tecnologías y 1 empresa descartada dentro de las mipymes usuarias por tratarse de emprendimientos

³ En ese último inciso se consideran el uso de realidad virtual y aumentada, blockchain y ciberseguridad.

start-ups, que aún no han escalado industrialmente sus proyectos de modo de insertarse comercialmente (son firmas sin niveles de ventas positivos por el momento).

Dentro del grupo de entrevistas a proveedores de nuevas tecnologías digitales, hay empresas proveedoras de robótica y dispositivos (Prodismo, RUF), proveedoras de servicios de impresión digital (Like3d), proveedoras de soluciones de software en big data e inteligencia artificial (Machinalis, Rafaela Software, Darwoftm, COREBI, Kunan), de soluciones en computación en la nube (Consuman, Contextus), de aplicaciones de internet de las cosas y sensores (Adaptio, Hexactitud, Rafaela Software) y de realidad virtual y realidad aumentada (Oixxio e IGS). Hay que tener en cuenta que varias de estas empresas ofrecen o están en condiciones de ofrecer varias de estas nuevas tecnologías, pese a que las presentamos como principalmente proveedoras de solo un tipo de ellas.

Las entrevistas a informantes calificados incluyeron expertos del sector académico y oficinas de vinculación universitaria, de organizaciones empresariales relacionadas a la actividad y el sector industrial (2), Agencias de Desarrollo local y consultores (Adec, Fundación Otra Córdoba), del Gobierno provincial e Institutos Tecnológicos nacionales (INTI).

Entre las organizaciones empresariales están la Camar3d (Cámara argentina de impresión 3d y fabricaciones digitales) que tiene operación a nivel nacional, el CTC (ClusterTechnology Cordoba), integrantes del Nodo de Colaboración Científico Industrial en Inteligencia Artificial Córdoba, de la CIECCA (Cámara de Industrias Informáticas, Electrónicas y de Comunicaciones del Centro de Argentina), la CIMCC (Cámara de Industriales Metalúrgicos y de Componentes de Córdoba) y miembros de la comisión directiva de la Cámara de Empresas de Desarrollos Informáticos de Rafaela. Entre las dependencias de los Gobiernos locales, se contactaron y consultaron a funcionarios de la Secretaría de Industria y del Ministerio de Ciencia y tecnología de la Provincia de Córdoba, y de la Secretaria de Producción, empleo e Innovación de Rosario.

La identificación de los casos de estudio mismos atravesó un proceso arduo de entrevistas con informantes y relevamientos a través de formularios online de identificación, en colaboración con organismos del Gobierno Provincial, agencias de desarrollo local, actores del sector académico e informantes de Cámaras empresariales.

En el caso de Córdoba la identificación de casos partió a través de informantes calificados tanto del sector gobierno, como académicos y de organizaciones empresariales. Ello incluyó el diseño de una encuesta online muy breve⁴ sobre uso de alguna de estas nuevas tecnologías digitales, para la identificación de casos en coordinación con la Secretaría de Industria del Ministerio de Industria, Comercio y Minería de la Provincia de Córdoba; que fue enviada a una base de empresas industriales asociadas a la Unión Industrial de Córdoba (UIC) durante junio de 2018, de alrededor de 185 empresas pertenecientes a 39 Cámaras sectoriales distintas. La tasa de respuesta de esta encuesta fue baja (menos del 4%) y no generó casos para entrevistar⁵.

Los primeros casos entrevistados se identificaron a través de un conocimiento previo del campo e información secundaria y se contactaron directamente. La mayor parte de las reuniones iniciales con informantes del sector académico y gobierno, permitían identificar experiencias locales o bien de grandes empresas industriales, o empresas dedicadas al sector servicios. También estas entrevistas iniciales sobre las tecnologías 4.0 en la región de Córdoba llevaron a identificar directamente a oferentes de estas tecnologías. Por esta vía, informantes de Agencias de desarrollo y por referencia de los propios proveedores entrevistados sobre sus colegas, se arribó al grupo de proveedores de nuevas tecnologías digitales que se consultaron. El diseño de entrevistas en este

⁴ El formulario utilizado para la identificación de los casos vía online, está disponible en el Anexo 1 de este documento.

⁵ Sólo se obtuvieron 7 respuestas. De ellas dos eran empresas de servicios, una no aplicaba ni planeaba aplicar ninguna de estas nuevas tecnologías. En las cuatro restantes, o bien no se obtuvo respuesta para realizar la entrevista o se negaron a concederlas.

caso tuvo un doble objetivo: a) recoger sus perspectivas sobre las limitaciones de las mipymes industriales en su demanda actual y potencial de nuevas tecnologías digitales y b) la identificación de usuarios que se adecuen al criterio de tamaño (mipymes) y rama de actividad (industria).

De este modo, una segunda vía para la identificación de los casos fueron las entrevistas con proveedores de distinto tipo de tecnologías 4.0, que fue la vía más fructífera para contactar los casos y el contacto directo en ferias empresariales relacionadas a la actividad electrónica (Expotrónica 2018) que concentraron muchas de las actividades sobre Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas, e-commerce y Robótica. Una tercera vía fue la colaboración directa con Cámaras empresariales, en particular reuniones con directivos y socios tanto de la CIMCC, como de la CIIECCA. En ambos casos se acercó a conocer proveedores de estas tecnologías y usuarios de las mismas, tanto casos relevantes para el foco del estudio como casos colateralmente vinculados que no fueron abordados (grandes empresas industriales o mipymes de servicios).

El proceso de identificación de empresas para la provincia de Santa Fe se realizó principalmente en base la red de contactos disponibles de empresas rafaelinas con la Universidad Nacional de Rafaela (unas 43 empresas industriales). Ello permitió contactar a firmas pequeñas y medianas que hubieran incorporado tecnologías digitales o estuviesen en proceso de evaluación para su futura incorporación por vía telefónica y a través de la encuesta online de identificación de casos que se implementó en Córdoba en colaboración con la Secretaría de Industria. Esta fue la principal fuente de identificación de casos en Santa Fe. También se contaron con contactos realizados con la secretaria de Producción, Empleo e Innovación de Rosario. A partir de la UNRaf también se contó con la colaboración de una empresa proveedora de soluciones de software y aplicaciones para la gestión y administración (Rafaela Software), que instala un software MES (Manufacturing Execution Systems) orientado a la planificación, gestión y ejecución de la producción, para la identificación de usuarios de tal sistema, que fueran mipymes industriales.

Los últimos párrafos precedentes retratan el arduo proceso de identificación de empresas de menor tamaño, que se aboquen a la actividad industrial y que hayan implementado o estén en proceso de implementación de alguna de estas nuevas tecnologías digitales que se suelen referir como de la "Industria 4.0". Hacia el final del texto agregaremos alguna reflexión sobre la medida en que las propias mipymes se autoexcluyen de este ideal, pese a contar con algunas implementaciones realizadas. El estudio cuenta con 15 casos de estudio de mipymes industriales de las provincias de Córdoba y Santa Fe. Interesa señalar que, en Argentina, la Secretaría de Emprendedores y pymes del Ministerio de la Producción define como empresas industriales medianas a aquellas que en los tres últimos ejercicios comerciales o años fiscales facturaron (excluido el IVA e impuestos internos y deducido hasta en un 50% el monto de las exportaciones) hasta 966,3 millones de pesos y emplearon hasta 655 trabajadores⁶.

El cuadro 1 a continuación describe los casos de mipymes industriales entrevistadas, sus principales sectores de actividad, antigüedad, localización geográfica y tamaño. De los 15 casos, 8 empresas son de la Provincia de Córdoba (6 de la capital y 2 del interior provincial) y 7 de la Provincia de Santa Fe (6 de la ciudad de Rafaela y 1 de Rosario). Las ramas de actividad de las mismas son de complejidades tecnológicas diversas y abarcan empresas del sector alimenticio (frigorífico, lácteos, helados y cervecería), del sector autopartista y metalmecánica, electrónica, industria plástica, producción de equipamiento médico, ópticas oftalmológicas, fabricación de maquinaria agrícola, bienes de capital para la industria alimenticia, maquinaria para el tratamiento de desechos y la producción de equipamiento eléctrico. Cabe destacar que esta cobertura sectorial

⁶ Resolución 154/2018.

representa adecuadamente de modo muy aproximado la estructura productiva de las regiones donde se ha realizado el estudio.

Las antigüedades de las empresas muestran una variabilidad muy alta, con empresas muy jóvenes de apenas un año de antigüedad y firmas que llegan a más de 80 años de funcionamiento desde su fundación. Sin embargo la gran mayoría de estas empresas tiene más de 20 años de antigüedad, sólo tres empresas han sido fundadas en las últimas dos décadas. Los tamaños también presentan bastante variabilidad, por cantidad de ocupados, en las empresas entrevistadas las hay desde 5 ocupados hasta 380 operarios, con un tamaño promedio de 130 operarios por empresa (y unos 150 trabajadores totales por firma). Hay sólo 1 caso que corresponde a micro empresa, 3 empresas que cuentan con entre 10 y 50 ocupados, 4 casos que ocupan entre 50 y 150 trabajadores y 6 empresas de las entrevistadas ocupan a más de 150 trabajadores. Esto es, dentro del universo de mipymes, los casos que han podido ser identificados que han comenzado, intentado o evaluado incorporar nuevas tecnologías digitales, tienden en su mayoría a ser Medianas, donde 10 de los casos cuentan con más de 50 trabajadores. Así, aunque ni el sector de actividad, ni la antigüedad o el tamaño aparecen como variables distintivas o determinantes de la adopción o no de tecnologías 4.0 la mayoría de las empresas adoptantes identificadas tiene 2 o más décadas de funcionamiento y cuentan con más de 50 ocupados. Es de destacar que una de las empresas alcanzó en el 2018 un volumen de facturación que excede el límite máximo para ser considerada mediana según la reglamentación vigente. Sin embargo, su inclusión se justifica por el hecho de tratarse de una empresa familiar de crecimiento exponencial que al momento de decidir sus inversiones en tecnologías 4.0 calificaba como empresa mediana.

A continuación, en el capítulo II, se presentan los resultados del trabajo de campo. Primeramente, se describen las experiencias de adopción en sí que han realizado estas empresas, mostrando sus particularidades. A continuación, se hace referencia a las motivaciones que llevaron a las empresas a encarar estos proyectos y se mencionan los principales beneficios obtenidos identificados por las propias empresas. Finalmente, se señalan algunas características generales del proceso de adopción.

Cuadro 1
Trabajo de campo: mipymes industriales estudiadas de Córdoba y Santa Fe

Empresa	Actividad	Localización	Año de creación	Tamaño	
				Por empleo	Por tramo de facturación (millones de pesos)
Empresa A	Automotriz.Mecanizados	Córdoba (capital)	1957	50	Tramo 9 (230 - 360 millones)
Empresa B	Alimenticia. Cerveza.	Córdoba (Alta Gracia)	2017	5	Tramo 1 (0 - 3 millones)
Empresa C	Alimenticia. Helados	Córdoba (capital)	2002	550 / 250 operarios	2.800 millones
Empresa D	Electrónica	Córdoba (capital)	1993	32	Tramo 5 (19 - 64 millones)
Empresa E	Alimenticia. Láctea.	Córdoba (James Craik)	1969	180	NC
Empresa F	Industria Plástica	Santa Fe (Rafaela)	1973	160	Tramo 10 (360 -520 millones)
Empresa G	Maquinaria para industria alimenticia	Santa Fe (Rafaela)	1933	120	Tramo 7 (75 -145 millones)
Empresa H	Maquinaria para tratamiento de desechos	Santa Fe (Rafaela)	1997	47	Tramo 8 (145- 230 millones)
Empresa I	Alimenticia. Frigorífico	Santa Fe (Rafaela)	1973	380	Tramo 11 (520- 630 millones)
Empresa J	Óptica	Santa Fe (Rafaela)	1964	180	Tramo 6 (64 -75 millones)
Empresa K	Maquinaria Agrícola (sembradoras)	Santa Fe (Rosario)	1976	110	Tramo 7 (75 -145 millones)
Empresa L	Equipamiento eléctrico	Córdoba (capital)	1999	160	Tramo 6 (64 -75 millones)
Empresa M	Industria Plástica	Córdoba (capital)	1975	77	Tramo 2 (3 - 10,5 millones)
Empresa N	Equipamiento médico	Córdoba (capital)	1985	70	Tramo 7 (75 -145 millones)
Empresa O	Metalmeccánica. Agropartes	Santa Fe (Rafaela)	1975	24	Tramo 5 (19 - 64 millones)

Fuente: Elaboración propia.

LAS EXPERIENCIAS DE ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS 4.0 EN MIPYMES ARGENTINAS, SUS MOTIVACIONES, CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS



Esta sección se centra en caracterizar a la adopción de nuevas tecnologías digitales que han realizado los casos estudiados. En una primera instancia, en la sección 2.1 nos abocamos a presentar los proyectos tecnológicos incorporados en los casos de estudio. Lo predominante y más destacado de los proyectos estudiados en mipymes industriales es la incorporación, desarrollo e implementación de algún tipo de software o sistema que posibilita la recolección de información instantánea de la producción a partir de la maquinaria, involucrando la instalación de sensores en los equipos; pero puede igualmente darse cuenta de experiencias puntuales de impresión aditiva, robótica avanzada, *cloud computing* y hasta algunas iniciativas incipientes en la analítica de grandes datos. Una segunda instancia (sección B) abordará las principales motivaciones para, y beneficios de, la adopción de tecnologías 4.0 en estas mipymes.

La tercera subsección (C) sistematiza globalmente estos resultados. La adopción de tecnologías 4.0 no aparece como una alternativa binaria, sino que las mipymes industriales que han iniciado alguna incorporación de estas tecnologías en Argentina, lo han realizado de un modo parcial. Sin embargo, como se verá, existen diversos grados de adopción que son competitivos en las cercanías de las necesidades de las mipymes, como es la resolución de algún problema productivo o de negocios concreto

A. Experiencias de adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes industriales de Córdoba y Santa Fe

Hemos repasado en la sección anterior la gran dificultad para identificar mipymes industriales usuarias de nuevas tecnologías digitales en la región. En buena medida, ello responde a que gran parte de los casos locales de adopción exitosa de estas tecnologías corresponden o bien a grandes empresas nacionales, incluso integrantes de conglomerados empresariales, a subsidiarias de grandes empresas extranjeras, o a firmas de sectores de servicios. Aunque muchos de éstos serán mencionados brevemente en la subsección que sigue, sólo lo haremos como punto de comparación con nuestro foco de estudio que son las mipymes industriales.

Pero en segundo lugar, el hecho que muchos empresarios de mipymes tienden a identificar el empleo de tecnologías 4.0 exclusivamente con la última fase del proceso de implementación (fase de expansión) en lugar de considerar que existen diversos “gradientes” de adopción, lleva a muchas mipymes a autoexcluirse como sujeto de relevamiento y también a dificultar su identificación. De esta forma, hay actividades previas necesarias para una adopción “estricta” de tecnologías 4.0 que se superponen con los estadios iniciales de adopción, lo que dificulta en la identificación de los casos discernir si en realidad es una etapa previa o una fase inicial de aplicación de esas tecnologías. En ese sentido, hay que remarcar que todos los estudios de casos de mipymes que hemos realizado se tratan de proyectos de adopciones “parciales” de nuevas tecnologías digitales, que se hallan en esta zona gris del estadio previo y el inicial de la industria 4.0.

En esta sección nos abocamos a las motivaciones, beneficios y características de los proyectos que hemos identificado en mipymes industriales de las provincias de Córdoba y Santa Fe. Como se ha descrito en la sección anterior, la mayor parte de las empresas de Córdoba corresponde a la capital provincial, mientras que la mayoría de los casos estudiados de Santa Fe son casi exclusivamente de la ciudad de Rafaela.

El cuadro 2 a continuación resume en los casos estudiados los tipos de proyectos de la incorporación de nuevas tecnologías digitales, su grado de implementación (en proyecto, en implementación o ya implementados), los proyectos en sí, y sintéticamente las motivaciones y beneficios que comentaremos más en detalle a continuación. De los 15 casos de mipymes implementadoras estudiados hay 8 proyectos de sensores e Internet de las cosas, 4 implementaciones de sistemas con inteligencia artificial, 3 proyectos de robótica avanzada, 3 incorporaciones de computación en la nube y 1 implementación de impresión aditiva. De este modo, cubrimos perspectivas sobre todos los tipos de tecnologías que conforman la industria 4.0, con exclusión de aplicaciones realidad virtual y aumentada. No se han identificado casos de mipymes industriales que localmente usen este último tipo de tecnología.

Las aplicaciones de *internet de las cosas* y *sensorización* a la maquinaria son las más extendidas. Entre ellas pueden mencionarse como proyectos ya implementados a la incorporación de software de captación de datos de producción en tiempo real, sistemas de monitoreo y control de la producción y almacenamiento, sistemas digitalizados y optimizados de *picking*, software que conectan directamente las áreas de pedidos con la provisión de materiales y ordenes de trabajo de producción; hasta la sola sensorización de equipos con escasa o nula conectividad. En esta área también se han identificado y estudiado en estado de proyección, evaluación y diseño proyectos de incorporar sensores a la maquinaria y su integración a sistemas digitalizados de ordenes de trabajo.

En materia de implementaciones de sistemas con inteligencia artificial, por lo general, los casos identificados y analizados incluyen tipos de software que vienen embebidos en distinto tipo de maquinaria adquirida por las mipymes (equipamiento de inspección óptica automatizada, soluciones de robótica avanzada para control de calidad y predictibilidad de fallas en variables cuantitativas complejas de productos finales), y softwares que permiten la gestión y predicción de tareas de mantenimiento de activos en tiempo real.

Los proyectos de robótica avanzada que se han estudiado en mipymes industriales tienen aplicaciones al área de almacenamiento, de producción y calidad. Específicamente, pueden mencionarse proyectos que han involucrado la instalación de grúas automatizadas para el almacenamiento en cámaras frigoríficas, el control de calidad en productos finales y en la creación de “áreas de automatización” donde maquinaria de producción y envasado interactúan y trabajan conjuntamente. Hay dos proyectos de analítica de grandes datos dentro de los casos estudiados, ambos en estado de desarrollo y diseño: la creación de un *data warehouse* para la aplicación de big data y el uso software de minería de datos para la generación de estadísticas de producción directamente de la maquinaria.

En materia de incorporaciones de computación en la nube las soluciones estudiadas tienden a ser provistas por proveedores locales de desarrollo de software que ofrecen sistemas de gestión del personal, producción y manejo contable-administrativo que permiten generar indicadores para la toma de decisiones en distintas áreas y sistemas de gestión de activos en tiempo real. En impresión aditiva, se ha estudiado el caso de un proyecto que ha incluido el servicio de impresión 3d para las tareas de prototipado de piezas para el desarrollo de nuevos productos.

Cuadro 2

Proyectos de nuevas tecnologías digitales implementados, en implementación o proyección de mipymes industriales estudiadas

Empresa	Actividad	Localización	Tipo de proyecto	Implementación	Año de inicio del proyecto	Grado de implementación		
						Implementado	En implementación	Proyecto/ evaluación a futuro
Empresa A	Automotriz. Mecanizados	Córdoba (capital)	Internet de las Cosas y sensores. Big Data. Computación en la nube.	"Sistema digitalizado de picking. Sistema digitalizado de ordenes de trabajo. Software de minería de datos de producción."	2017	x	x	
Empresa B	Alimenticia. Cerveza.	Córdoba (Alta Gracia)	Internet de las Cosas y sensores	Sistema de monitoreo y control de la producción y almacenamiento	2017	x		
Empresa C	Alimenticia. Helados	Córdoba (capital)	Robótica avanzada	Grúa automatizada de almacenamiento	2014	x		
Empresa D	Electrónica	Córdoba (capital)	Inteligencia Artificial	Máquina de inspección óptica automatizada	2017	x		
Empresa E	Alimenticia. Láctea.	Córdoba (James Craik)	Robótica avanzada	Automatización de áreas de producción, envasado y servicios	2014	x	x	
Empresa F	Industria Plástica	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Software de captación de datos de producción en tiempo real	2015	x		
Empresa G	Maquinaria para industria alimenticia	Santa Fe (Rafaela)	Computación en la nube.	Software de gestión del personal, la producción y manejo contable-administrativo.	NC	x	x	
Empresa H	Maquinaria para tratamiento de desechos	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Equipos con sensores	NC	x		x
Empresa I	Alimenticia. Frigorífico	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Software de captación de datos de producción en tiempo real	NC	x	x	
Empresa J	Óptica	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas. Inteligencia Artificial. Robótica Avanzada. Big Data	Internet de las Cosas entre las máquinas de producción. Software de picking de materiales y sistema de pedidos . Robótica avanzada de control de calidad. Data warehouse.	2016	x	x	
Empresa K	Maquinaria Agrícola (sembradoras)	Santa Fe (Rosario)	Internet de las Cosas y sensores	Planta automatizada de plegado. Software para conectividad de robot y recolección de datos de producción.	2015		x	x
Empresa L	Equipamiento eléctrico	Córdoba (capital)	Computación en la nube. Inteligencia Artificial.	Software de gestión de activos y mantenimiento en tiempo real	2015	x		
Empresa M	Industria Plástica	Córdoba (capital)	Computación en la nube. Inteligencia Artificial.	Software de gestión de activos y mantenimiento en tiempo real	2010	x		
Empresa N	Equipamiento médico	Córdoba (capital)	Impresión aditiva / 3d	Impresión aditiva para piezas de prototipos	2016	x		
Empresa O	Metalmecánica. Agropartes	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Sensores y conectividad a maquinaria. Software de gestión de datos de producción y órdenes de trabajo.	2016	x		

Fuente: Elaboración propia.

En lo que sigue, comentaremos caso por caso las características de las empresas estudiadas, los proyectos de nuevas tecnologías digitales en los que han estado involucradas, qué las ha motivado en este camino y qué beneficios les ha reportado hasta el momento. En la subsección siguiente podremos contar con una comparación de los proyectos conocidos que han implementado grandes empresas industriales y la

perspectiva de los proveedores de estas tecnologías. Conjuntamente, nos permitirán en la sección C realizar un análisis de los limitantes que pueden estar operando en este tipo de organizaciones, que pueden ser atribuidas directamente a su carácter de mipymes.

Empresa A

Se trata de una empresa de Córdoba abocada a la producción de distinto tipo de piezas mecanizadas para la industria automotriz: tienen una cartera de 1.700 productos para chasis, suspensión, partes de motores, punzonadoras y actuadores neumáticos. La empresa es nacional, tiene más de 50 años, entró en funcionamiento en el año 1957 y actualmente ocupa a 50 trabajadores.

Es una empresa con un buen nivel de competencias informáticas previas, y que cuenta con dos proyectos implementados y en implementación desde 2017 en lo que es incorporar IoT y sensores y Big data a la producción. Estos proyectos llevan consigo otras implementaciones 4.0 complementarias y relacionadas. En particular cuenta con un sistema digitalizado de *picking* prácticamente en funcionamiento y un sistema digitalizado de órdenes de trabajo en proceso de implementación.

En su centro de distribución cuentan con un sistema digital para el *picking* que funciona en tablets y utilizan el personal del área para preparar los pedidos. El sistema se conecta con otros dos sistemas, que previamente tenía la empresa que les fueran desarrollados a medida: un sistema de inventarios, por un lado, y un sistema a través del cual los clientes realizan los pedidos, que entran a una base de datos de la empresa. En el sistema de *picking* en las tablets, entran los pedidos de los clientes de la base de datos de la empresa, y a los encargados de prepararlos el sistema le “optimiza” el recorrido de búsqueda de los productos, reduciendo tiempos de traslados en el almacén, que se llevan “manualmente” al área de empaquetado.

En proceso de implementación, la empresa tiene diseñado un proyecto de incorporar tablets a sus maquinarias en el área de producción, para la carga y operación de órdenes de trabajo, que actualmente se manejan en papel. Este proyecto involucra conectividad con los sensores de las máquinas y un sistema más sofisticado. Por ahora, se cuenta con los sensores en las máquinas instalados. En desarrollo, tiene diseñado un sistema de software para generar los datos de órdenes de trabajo, informar al operario sobre la operatoria y tareas necesarias para cada pieza y equipo, y monitoreo durante la fabricación⁷.

El procesamiento de los datos que generan los sensores se integrará a una inversión complementaria que ya han realizado a través del pago de una licencia mensual de un SaaS de *data mining* y están usando desde hace un año con todos los datos que generan los otros sistemas que ya tiene instalado la empresa (p.e. del área comercial, contable, recursos humanos, etc.) y alguna de la información que generan los sensores ya en funcionamiento. Este software genera instantáneamente estadísticas e indicadores para la toma de decisiones gerencial diaria. Complementariamente, han incorporado un sistema de digitalización de documentos que funciona con tecnología .web, digitalizando datos de los otros sistemas, agregándole una serie de etiquetados, que permite vincular documentos y mejorar los procesos de búsqueda de documentación.

⁷ A diferencia de otras experiencias, especialmente de grandes empresas donde realizan importantes inversiones para instalar maquinaria con estas mejoras incorporadas, aquí el esfuerzo está en cómo incorporarle la mejora al equipo que ya disponen, en cómo hacer “4.0” la maquinaria que ya disponen, en lugar de comprar un paquete tecnológico que las ate a un proveedor.

Empresa B

Este caso es una microempresa (5 trabajadores), muy joven (2017), dedicada a la producción de cerveza artesanal localizada en Alta Gracia (Córdoba), con su propio local de comercialización, un Almacén de Cerveza Artesanal.

Tanto en el local comercial, como en la producción surgió la necesidad de llevar adelante el monitoreo del almacenamiento de stock y de los distintos parámetros del proceso de producción (p.e. temperatura del fermentador, cantidad de líquido, etc.) en tiempo real. Lo anterior llevó a la empresa a incorporar sensores y conectividad (IoT) a los tanques de producción y de almacenamiento. De esta forma, tienen incorporado desde este mismo año un sistema de monitoreo y control de la producción y almacenamiento, desarrollado prácticamente de modo interno.

El desarrollo e instalación de este sistema estuvo a cargo de dos de los socios. Uno de ellos cuenta con formación en electrónica. El otro, con formación en software, trabaja paralelamente en un proveedor local de software e IoT. Instalaron sensores en los tanques y heladeras, y la información que recolecta se transmite a internet, y se sube en la nube, lo que se monitorea vía web y una aplicación que han desarrollado para dispositivos móviles. Para esto, cuentan con un cloud en modalidad gratuita hasta el momento de Amazon Web Services (AWS). En ese sentido, aparece como una mejora de “relativa” baja inversión, donde el costo de los componentes ha resultado marginal, el alojamiento *cloud* es gratuito, y el mayor aporte ha estado en la dedicación de horas de desarrollo de los socios; todo lo cual corresponde a financiamiento interno.

Empresa C

La empresa se dedica básicamente a la producción de helados, data del año 2002, es nacional y localiza su planta en Córdoba. Cuenta con cerca de 250 operarios en las áreas de producción, cámara de almacenamiento y mantenimiento, a los que se le deben sumar unas 300 personas dedicadas a comercialización y distribución.

La firma ha incorporado una solución de robótica avanzada, ante por la necesidad de ampliar la capacidad de almacenamiento ante un período de crecimiento vigoroso de la organización. A partir de esta necesidad empezaron en 2008 un proceso de interacción con los proveedores extranjeros de tecnología, específicamente de Alemania y España. Tiene en funcionamiento desde octubre de 2017 una cámara frigorífica de almacenamiento de helados que cuenta con grúas automatizadas que organizan los pallets de helado, en un ambiente de alrededor de 35° bajo cero.

Dentro de la cámara frigorífica no hay personal humano: los pallets de helado monoproducción se entregan “manualmente” desde la línea de producción y es la grúa robótica la que decide dónde y cómo acomodarlos. Esta cámara abastece luego a las cámaras de distribución, donde personal va haciendo “manualmente” los pedidos multiproducción desde los clientes/franquicias. A partir de esta rotación, de entrada y salida de pallets, la grúa “aprende” dónde ir almacenando los distintos tipos de productos según la demanda de los mismos, dentro de ciertos parámetros fijados al dar de alta cada ítem, que le permite a la máquina incorporar ese producto y decidir dónde es el mejor lugar para guardarlo.

Empresa D

Se trata de una empresa electrónica cordobesa, abocada a la producción de placas para distintos tipos de productos finales, como electrodomésticos, etc., incluyendo el desarrollo del software que tiene embebido. La empresa tiene 25 años, fundada en 1993 y ocupa a 32 trabajadores.

Han incorporado hace 1 año (en 2017) una máquina de inspección óptica automatizada (AOI), con software embebido con IA. Era una tecnología bien conocida por la empresa, que cuenta con larga experiencia en electrónica e informática.

La máquina se utiliza en la etapa de control, al final del proceso, para reemplazar lo que era solamente un control visual humano. Ésta le aplica una serie de reflectores a las placas, construyendo una imagen 3d de las mismas, las inspecciona y hace mediciones de todos los componentes y soldaduras a nivel muy milimétrico; y toma todos esos datos y los va comparando con patrones de medición anteriores. De este modo, va “aprendiendo” de las mediciones que va haciendo en sus inspecciones, para identificar fallas en las que va midiendo nuevamente. Actualmente, la operatoria del equipo colabora con la tarea de inspección visual humana, dándole al operario los parámetros que van surgiendo de los históricos, y les da imágenes ampliadas en 3d y todas las mediciones, lo que permite que éste pueda realizar una inspección visual más precisa, sin necesidad de hacer las mediciones con monóculos u otros implementos ópticos.

Empresa E

En el interior de la provincia de Córdoba (en la localidad de James Craik), la empresa E funciona desde 1969, se dedica a la actividad de la industria láctea y cuenta actualmente con 180 trabajadores.

Esta firma en los últimos 5 años, ante la decisión de aumentar la escala de producción, amplió su grado de automatización en las áreas de producción, envasado y servicios, adquiriendo equipamiento que incorpora robótica avanzada. Han creado en los últimos 3 años cuatro “áreas de automatización” (quesos cremosos, quesos semiduros, sector envasado y área de servicios), donde cada una de estas áreas posee un PLC que automatiza todo el proceso, y posibilita que las máquinas interactúen entre ellas, aunque toda la información que generan los procesos (si el equipo está prendido, si opera correctamente o en falla, la temperatura, etc.) no se almacena automáticamente, sino que hay que registrarla manualmente en planillas, a excepción del área de servicios en la que el sistema genera y guarda información. Por tanto, se trata de una mejora parcialmente “4.0”.

Empresa F

La empresa F se fundó en 1973 en Rafaela, actualmente cuenta con 160 empleados, y está especializada en el diseño, desarrollo, producción y venta de envases flexibles de todo tipo. En 2015 han implementado una solución de software de captación de datos de producción en tiempo real (IoT y sensores) que conecta la maquinaria de la planta a las distintas áreas de la empresa.

A partir de la incorporación de una maquinaria particular, una impresora flexográfica que daba lugar a incorporar un sistema de captación de información del proceso, surgió la iniciativa de incorporar este proceso de captación de información más ampliamente al resto del equipo. Para ello contrataron una pyme local de software, quién realizó

el desarrollo e implementación a medida del sistema pre existente y necesidades concretas del proceso de producción de la empresa, y actualmente va realizando el mantenimiento y actualización del sistema, con un pago mensual.

El desarrollo consistió en un sistema que carga automáticamente los datos de las máquinas durante el proceso productivo y los incorpora al sistema de gestión de la firma. Con esos datos desde el área de gestión generan estadísticas mensuales (o por periodos menores según necesidad) de trazabilidad, producción, fallas, indicadores de *scrap* (cantidad de piezas que debieron desecharse por defectos), mantenimiento, etc. Con esta información ellos generan insumos para mejorar la productividad de la fábrica, y se almacena en servidores físicos de la empresa (no en la nube).

Empresa G

La empresa G inició sus actividades en el año 1933 y actualmente cuentan con dos plantas, una en la ciudad de Rafaela y la otra en la ciudad de San Vicente y entre las dos plantas suman un total de 120 empleados. Se dedica al diseño y fabricación de equipos de proceso para las industrias alimenticias y de bebidas.

Cuenta con una solución de computación en la nube, que es un software de gestión del personal, la producción y manejo contable-administrativo. A través de este software realizan capturas de datos de producción por medio de códigos de barra para realizar cómputos de horas trabajadas por operario en cada proyecto. Toda esa información gestionada en el software está almacenada en la nube y es un servicio que tercerizan con una empresa de software. La información así generada se utiliza para elaborar indicadores. En cada proceso miden cantidad de horas que se utilizan, lo cual debe estar en línea con lo que se presupuestó pero también analizan “despilfarros” que no agregan valor y buscan monitorear desde el Área de Calidad (encargada de procesar la información) y cada mes o mes y medio analizan estos indicadores y tomar decisiones para ir achicando esas horas no productivas. Esta generación de información fue un subproducto no buscado, que les permitió hacer más eficaz las tareas de calidad. Sin embargo, toda la información que recopila el sistema no es procesada por tecnología ni de big data o IA para el cómputo de indicadores, debido que la reducida cantidad de clientes con los que opera la empresa no lo amerita.

Empresa H

Esta firma de Rafaela cuenta actualmente con 47 empleados y se dedica a la construcción y montaje de maquinaria para la distribución de fertilizantes, residuos forestales y plantas para la clasificación y tratamiento de residuos sólidos urbanos. Se trata realmente de una actividad de tecnología madura.

Parte de sus máquinas de clasificación y tratamiento de residuos urbanos tienen incorporados sensores, por lo que se trata de una aplicación de IoT y sensores que viene junto con la máquina. Sin embargo, la proporción del equipo que cuenta con esta tecnología es muy bajo (apenas el 3% del mismo) y la utilización de la información de estos sensores para realizar un diagnóstico remoto del trabajo para las mismas es muy baja. Estos sensores detectan y alertan sobre mal funcionamiento u obturación de los equipos, y además registran información de variables básicas del proceso (como temperatura, ph, concentración de carbono, etc.).

Empresa I

La empresa I se localiza en la ciudad de Rafaela, data del año 1973 en la actividad alimenticia. Específicamente es un frigorífico de carne vacuna y de cerdo, que produce chacinados, fiambres y embutidos, contando con alrededor de 380 ocupados.

Esta firma cuenta con una solución de IoT y sensores, específicamente un Software de captación de datos de producción en tiempo real (un *Manufacturing Execution System*), que conecta información de la maquinaria envasadora con el sistema general de gestión de la empresa. Toda la información y el sistema están montados en servidores físicos de la organización. El software incorporado permite captar la información de envasado, variables de condiciones de rendimiento, temperatura y errores u obstrucciones de la máquina de manera instantánea a través de un PLC. Anteriormente esta información era recabada por los empleados que registraban la hora de inicio, equipo de trabajo y finalización del palletizado de los productos. Esta carga de datos es la que ya no es necesaria.

Empresa J

Una de las mipymes rafaquinas estudiadas que se dedica a actividades de alta tecnología, la empresa J, se dedica a la actividad óptica a nivel nacional. Fue fundada en el año 1964 y cuenta con 180 empleados, de los cuales 100 están en la planta productiva y el resto en oficinas de distribución en el resto del país.

Esta empresa ha desarrollado un proyecto integral 4.0 que ha comenzado a implementar en 2016. Ello abarca todo un programa de incorporación de tecnologías y mejoras, que apuntan a completarse totalmente en 2020 y que incluyen mejoras de IoT y sensores, robótica avanzada, sistemas de inteligencia artificial y aplicación de big data.

Al momento tiene implementadas sensorización e IoT en maquinaria de producción y en el *picking* de materiales y sistema de pedidos (estas actividades —los pedidos y la provisión de materiales al área de producción y las órdenes de trabajos— están conectadas en tiempo real a través de un software en la nube); y soluciones de robótica avanzada para control de calidad que cuentan con software de inteligencia artificial embebido. En particular, se trata de un robot controlador de variables cuantitativas de las lentes oftalmológicas, que realiza controles a través de algoritmos que identifican patrones de mediciones a través de aprendizaje artificial. En proceso de diseño e implementación se está llevando adelante un *dataware house* propio para el almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos, que aún no pueden procesar, para el que cuentan con proyectos de aplicaciones de big data, que puedan generar informes, predicciones y estadísticas automáticas.

Empresa K

La empresa se aboca a la producción de equipos para siembra directa y tiene su fábrica ubicada en la ciudad de Rosario en la provincia de Santa Fe. La empresa se fundó en el año 1976, es de origen nacional, con un personal total de alrededor de 110 trabajadores.

Desde 2015 se encuentra en instalación un proyecto de una planta automatizada de plegado. Para ello han invertido en la compra de maquinaria extranjera y la instalación de un software específico. Este software, que fue desarrollado por una empresa local, realiza la captura de datos de producción de todas las máquinas y los vincula con las diferentes áreas, posibilitando generar datos de productividad para la toma de decisiones. Por el momento, las máquinas no están interconectadas y el almacenamiento de los datos de producción se encuentra individualmente en cada una de ellas.

Empresa L

La empresa L es una subsidiaria de un grupo empresarial español que funciona en Córdoba desde el año 1998 y actualmente cuenta con 160 trabajadores (100 operarios), abocada a la producción de transformadores eléctricos, de medida y de alta tensión.

Esta firma, en 2015 comenzó la implementación de un software de gestión de activos y de mantenimiento en tiempo real, para programar y planificar más precisamente las tareas de mantenimiento preventivo del equipo, así como mejorar su eficiencia productiva.

El sistema fue provisto por una pyme de software local y opera como un SaaS a través de un pago mensual que incluye soporte y capacitación. Su instalación demandó unos tres años en entrar plenamente en funcionamiento, debido que insumió un largo período de carga de la información sobre los equipos y tareas.

El software está abocado al área de mantenimiento, cuenta con una carga de todos los activos de la empresa (maquinaria, medios de transporte, medios de elevación, luminaria, mobiliario, etc.), sus especificaciones, partes, componentes y mantenimientos. A partir de la información inicial y el historial de fallas que vayan teniendo diversos activos, el sistema genera en tiempo real las órdenes de trabajo para mantenimientos necesarios de carácter preventivo. También los supervisores de producción pueden hacer solicitudes de mantenimiento a través del sistema, que genera las órdenes de trabajo, especialmente para soluciones correctivas.

El sistema se retroalimenta con datos diarios de producción, las devoluciones de los resultados de trabajos de mantenimiento preventivo y los ingresos de fallas que han requerido mantenimiento de tipo correctivo. Sin embargo, los operarios no tienen acceso al sistema, y tanto las órdenes de trabajo que reciben, como la información que devuelven para retroalimentar al sistema se entregan de modo físico en papel, y deben cargarse manualmente por el área de mantenimiento.

Empresa M

La empresa M, de la ciudad de Córdoba, se dedica a la fabricación de envases plásticos para la industria alimenticia. Esta firma tiene una antigüedad de 40 años y cuenta con alrededor de 77 empleados en total (de los cuales 60 son operarios).

Esta empresa cuenta, desde el año 2010, con una aplicación de computación en la nube e inteligencia artificial, que es un software de gestión de activos y mantenimiento en tiempo real. El sistema funciona en la nube, al estilo SaaS, con un pago mensual a la empresa proveedora y permite, luego de la carga inicial de todos los activos de la empresa, componentes y especificaciones (que se hace manualmente y demanda mucho tiempo), generar automáticamente y por pedido órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo y predecir la necesidad de los mismos en tiempo real. El sistema realiza estas predicciones retroalimentándose con el historial de fallas que vayan teniendo diversos activos y también permite producir reportes para la toma de decisiones humana. En ello se aprecia una implementación parcial "como mejora 4.0", dado que la carga de estas fallas se realiza de modo manual/físico al igual que toda una serie de tareas que involucran circulación y carga de información (tales como la entrega de órdenes de trabajo a los encargados de tareas de mantenimiento, la carga de fallas que requirieron mantenimiento correctivo y las devoluciones de las tareas realizada de cada orden).

Empresa N

La empresa N que funciona desde 1985 en Córdoba cuenta actualmente con 70 trabajadores, y desde el año 2000 tiene una planta productiva en Brasil, con otros 60 trabajadores. Se dedica a la producción de equipamiento médico, específicamente dispositivos para ventilación pulmonar en cuidados intensivos, máquinas de anestesia y ventilador para transporte.

En esta empresa se ha estudiado el uso de impresión digital en el proceso de desarrollo de productos, específicamente para la tarea de prototipado de piezas. Esta solución se ha implementado hace dos años, tercerizando esta actividad, en un primer momento con proveedores locales y finalmente a una empresa del extranjero, en China.

Empresa O

Se trata de una empresa nacional localizada en Rafaela perteneciente al rubro metalmecánico, que emplea a 24 trabajadores y se dedica principalmente a la producción de partes para maquinarias agrícolas y para otros sectores.

En la visión de la empresa, disponen de una “fábrica inteligente” ya que todas sus máquinas captan la información del proceso productivo a través de PLCs (controladores lógicos programables) y cuentan con una interface que las conecta con un software de gestión, de modo que dicha información es compartida y utilizada como *input* en las restantes áreas de la empresa.

El software de gestión, que fue contratado a una empresa nacional, cuenta con una fórmula de producción que le permite determinar qué es lo que se tiene que hacer en cada momento, en qué máquina se debe hacer y un conjunto de información adicional para cada tarea. Además cuenta con registros de calidad y hace la programación del mantenimiento de los equipos y el control del stock inventarios. Otra solución que les dio el software es la posibilidad de tener almacenado todos los planos de los procesos necesarios para el proceso productivo en un único lugar y asociado al cliente que le corresponde.

En términos productivos, en los últimos años la empresa fue migrando de ser una empresa de piezas estándares a ser una fábrica de piezas especiales. Ello debido a la falta de competitividad respecto de los productos importados en las producciones a escala. Para operar en el competitivo mercado de piezas especiales una necesidad latente era conocer el tiempo real de producción de cada lote, de forma de poder calcular sus costos de manera precisa y cotizar de forma conveniente. El sistema anterior no les permitía conocer detalladamente esta información, por lo que debían trabajar con tiempos supuestos. Adicionalmente, el sistema actual permite establecer el ordenamiento de órdenes de trabajo, primordialmente en función de los tiempos de entrega, lo que generaba problemas anteriormente cuando la prioridad de lotes a producir era establecida por los humanos.

En 2016 hicieron la inversión de sensores y conectividad y en el año 2017 el foco fue la parametrización de los procesos, de manera que la fábrica estuvo operativa completamente con este nuevo sistema a partir del 2018. A través de un préstamo provincial a tasa subsidiada, pudieron financiar la compra del software, computadoras, sensores y todo el sistema necesario. Un 20% adicional de financiamiento provino de recursos propios.

B. Principales motivaciones para, y beneficios de la adopción de tecnologías 4.0

En esta sub-sección nos adentramos en la sistematización de cuales han sido las motivaciones y los beneficios para la adopción de nuevas tecnologías digitales en los casos estudiados. El cuadro 3 a continuación sintetiza este aspecto en el trabajo de campo, lo que se procede a detallar caso por caso para pasar, luego, a la sistematización de los resultados.

Cuadro 3

Motivaciones y beneficios de los proyectos de nuevas tecnologías digitales de mipymes industriales estudiadas

Empresa	Tipo de proyecto	Implementación	Motivación	Beneficios
Empresa A	Internet de las Cosas y sensores. Big Data. Computación en la nube.	"Sistema digitalizado de picking. Sistema digitalizado de ordenes de trabajo. Software de minería de datos de producción".	Continuar la trayectoria en digitalización de la firma, Ugrading tecnológico.	Eficiencia y mejoramiento de las condiciones de trabajo.
Empresa B	Internet de las Cosas y sensores	Sistema de monitoreo y control de la producción y almacenamiento	Solución de un problema	Eficiencia en el manejo de inventarios y en la producción. Solución del problema. Mejora en calidad
Empresa C	Robótica avanzada	Grúa automatizada de almacenamiento	Solución de un problema. Expansión de la planta.	Eficiencia en el manejo de inventarios. Solución del problema. Mejora de condiciones de trabajo.
Empresa D	Inteligencia Artificial	Máquina de inspección óptica automatizada	Precisión y eficiencia en la calidad	Precisión y calidad en la inspección visual.
Empresa E	Robótica avanzada	Automatización de áreas de producción, envasado y servicios	Aumento de la escala de producción. Reducir tareas repetitivas	Aumento de eficiencia. Simplificación de tareas.
Empresa F	Internet de las Cosas y sensores	Software de captación de datos de producción en tiempo real	Iniciar la trayectoria digital hacia 4.0, Ugrading tecnológico.	Eficiencia y productividad
Empresa G	Computación en la nube.	Software de gestión del personal, la producción y manejo contable-administrativo.	Necesidad de precisión en imputar horas de trabajo por proyectos	Precisión en la imputación de horas por proyecto. Eficiencia en la producción y disminución de desoílfarro de horas. Mejora en la toma de decisiones. Diferenciación de la competencia.
Empresa H	Internet de las Cosas y sensores	Equipos con sensores	Ninguna, viene con la máquina	Detección de errores
Empresa I	Internet de las Cosas y sensores	Software de captación de datos de producción en tiempo real	Solución de un problema	Solución del problema. Ahorro de costos. Detección de errores. Mejora en registro de datos
Empresa J	Internet de las Cosas. Inteligencia Artificial. Robótica Avanzada. Big Data	Internet de las Cosas entre las máquinas de producción. Software de picking de materiales y sistema de pedidos. Robótica avanzada de control de calidad. Data warehouse.	Continuar la trayectoria en digitalización de la firma. Ugrading tecnológico.	Precisión en calidad. Reducción de tiempos de entrega y distribución. Reducción de errores y desperdicios. Mejora en calidad de la prestación de servicios.
Empresa K	Internet de las Cosas y sensores	Planta automatizada de plegado. Software para conectividad de robot y recolección de datos de producción.	Mejora en condiciones de trabajo	Mejora de calidad. Mejora en condiciones de trabajo
Empresa L	Computación en la nube. Inteligencia Artificial.	Software de gestión de activos y mantenimiento en tiempo real	Mejora en la planificación de tareas de mantenimiento. Eficiencia Productiva.	Eficiencia. Precisión en la planificación de tareas de mantenimiento preventivo. Codificación de tareas. Ahorro en costos por menores fallas y paradas de la producción.
Empresa M	Computación en la nube. Inteligencia Artificial.	Software de gestión de activos y mantenimiento en tiempo real	Mejoramiento de controles de mantenimiento y satisfacción de auditorías.	Rigurosidad en la evaluación del desempeño de tareas de mantenimiento. Mejora en la previsión de fallas.
Empresa N	Impresión aditiva / 3d	Impresión aditiva para piezas de prototipos	Ahorro de inversión en matricería definitiva durante el período de prototipado y aprobación de productos	Comercialización y promoción de producto. Ahorro de costo de inversión en matricería durante la aprobación y certificaciones de productos
Empresa O	Internet de las Cosas y sensores	Sensores y conectividad a maquinaria. Software de gestión de datos de producción y órdenes de trabajo.	Solución de un problema. Precisión en cotización de productos y en cumplimiento de tiempos de entrega.	Solución del problema. Precisión para cotización de piezas. Mejor información sobre tiempos de trabajo y mejor gestión en la prioridad de órdenes de trabajo. Mejora en el cumplimiento de tiempos de entrega.

Fuente: Elaboración propia.

Motivaciones y beneficios caso por caso

La empresa A ha incorporado un sistema digitalizado de *picking*, un software de minería de datos de producción que funciona en la nube, y lleva avanzado un proceso para implementar un sistema digital de órdenes de trabajo que involucra conectividad y sensorización en la maquinaria. La principal motivación para incorporar estas mejoras es la búsqueda de una mayor eficiencia profundizando la trayectoria en digitalización que la firma lleva adelante hace un par de décadas.

Entre los principales beneficios que le reporta a la empresa este proceso de incorporar digitalización a la producción y la operatoria diaria, está el mejoramiento de las condiciones de trabajo (p.e. reduciendo cansancios en los recorridos del centro de distribución). No menos importante, si bien ello no genera réditos económicos directos inmediatos, es la obtención de información actualizada en tiempo real y la posibilidad de codificar o registrar conocimiento tácito del personal para nutrir los procesos de aprendizaje *by failing*.

Por su parte, la empresa B se inició como un establecimiento comercial, dedicado a la venta al público de cerveza, y posteriormente procedió a integrarse verticalmente hacia atrás a la producción de cerveza. En ambas áreas, la comercialización y en la producción surgió la necesidad de solucionar el problema del monitoreo del almacenamiento de stock y de los distintos parámetros del proceso de producción (p.e. temperatura del fermentador, cantidad de líquido, etc.), en tiempo real. Solucionar este problema fue la motivación para desarrollar sensores y conectividad (IoT) a los tanques de producción y de almacenamiento.

El principal beneficio de esta mejora ha sido la solución del problema en sí, consistente en poder monitorear el estado de la fábrica y del almacenamiento del stock en tiempo real a distancia. Esto impacta en un incremento en la eficiencia de la producción y una mayor precisión en la calidad del producto, especialmente por la mejor precisión en la combinación de ingredientes para las recetas.

La empresa C ha incorporado una solución de robótica avanzada (grúa automatizada en cámara frigorífica), motivada por la necesidad de ampliar la capacidad de almacenamiento ante un período de crecimiento vigoroso de la organización. A partir de esta necesidad empezaron en 2008 un proceso de interacción con los proveedores extranjeros de tecnología, específicamente de Alemania y España.

Entre los principales beneficios que le ha reportado a la empresa incorporar esta tecnología está una mayor eficiencia en el manejo de inventarios (con precisión “instantánea”) repercutiendo en ahorro de tiempos, la solución concreta de su necesidad inicial (ampliación de la capacidad) y la mejora de condiciones de trabajo, dado que el personal no tiene que trabajar en un ambiente hostil de decenas de grados bajo cero.

La compra de la máquina de inspección óptica automatizada (AOI) realizada por la empresa D estuvo motivada por la necesidad de mejorar la precisión y eficiencia en la calidad en la tarea de inspección visual de las placas. El principal beneficio de su incorporación ha sido justamente lograr este objetivo, una mayor precisión en la inspección visual, así como calidad en el producto final. Ello le ha permitido certificar la calidad del producto. Por esta vía ha mejorado la relación con el cliente, especialmente con aquellos más exigentes, como INVAP⁸. Le ha permitido a la empresa realizar desarrollos con mejor o mayor tecnología y la máquina le da la certeza de que el componente está correctamente producido.

⁸ INVAP Sociedad del Estado es una empresa argentina de alta tecnología dedicada al diseño, integración y construcción de plantas, equipamientos y dispositivos en áreas de alta complejidad, tales como equipamiento médico y científico, tecnología espacial y energía nuclear.

En el caso de la empresa E, la motivación de la automatización avanzada introducida varía según el área de que se trate: mientras en el área de producción la principal ha sido el logro de determinado volumen de producción con el personal disponible, en el área de envasados tuvo por objetivo reducir la cantidad de gente en tareas repetitivas, ya que estas tareas generan lesiones y fatigas. El carácter parcial del tipo de mejora (ver subsección anterior), se traduce en que los beneficios que les ha reportado este proceso coinciden con los que genera la incorporación de robótica tradicional: han logrado incrementar la capacidad manteniendo su planta de personal, simplificar tareas de los operarios y aumentar la eficiencia, a la vez que la automatización permitió mejorar la higiene y la calidad.

La motivación para la empresa F para implementar su solución de software de captación de datos de producción en tiempo real (IoT y sensores) que conecta la maquinaria de la planta a las distintas áreas de la empresa, ha sido iniciar la trayectoria digital hacia 4.0, avanzando en el *upgrading* tecnológico de la empresa. El principal beneficio de esta mejora ha estado en términos de eficiencia y productividad. Con este software a medida que adquirieron lograron aumentar la precisión de la información, tener información de mayor confiabilidad y contar con ella más rápido que con la carga manual. La información brindada les permitió identificar situaciones en las cuales se podía mejorar la productividad, como reducción de *scrap*, etc.

Para la empresa G la implementación en la nube de su software de gestión del personal y de la producción vino motivada por la necesidad concreta de contar con una mayor precisión en imputar horas de trabajo por proyectos y de tener mejor información de producción para la toma de decisiones y el contar con tecnologías que le permitan diferenciarse de sus competidores. El principal beneficio de la incorporación de este software ha estado en la mejor información que captan y a la facilidad del acceso a esa información, lo cual les permite tomar mejores decisiones, y una más precisa imputación de horas por proyecto. El hecho de que el sistema opere en la nube tiene el beneficio de que agiliza el acceso a la información entre distintas áreas de la firma, casi de modo inmediato. Además, la digitalización de la información simplifica el trabajo que antes se hacía manual y en papel, lo cual les permitió ganar tiempo y evitar el despilfarro de horas de trabajo.

En el caso de la empresa H, el hecho de que sus máquinas de clasificación y tratamiento de residuos urbanos lleven incorporados sensores y conectividad no ha sido una característica buscada. Por ello, no ha habido una motivación particular para que los equipos cuenten con esta mejora, sino que ésta viene incorporada. Los beneficios de la misma han sido limitados y se han acotado a la detección de algunos errores de funcionamiento. En particular, los equipos están instalados en lugares donde la conectividad es mala o inexistente (en basurales, relativamente alejados de las zonas urbanas), generando que buena parte de la información que generan los sensores se pierda rápidamente si no pasa a ser recolectada, limitando fuertemente los beneficios de la nueva tecnología digital embebida en su equipo.

La empresa I incorporó un software de captación de datos de producción en tiempo real con la motivación de solucionar un problema concreto: el tener una manera efectiva y rápida de detectar y registrar fallas. La maquinaria (de procedencia italiana) para el envasado de uno de los productos, ya contaba con un sistema de control propio vía PLC que interactuaba con el sistema generando datos, aunque el software propietario venía a prueba. A partir de esta experiencia, investigando alternativas en ferias y charlas informativas, optaron por contratar a una empresa de software local para instalar y adaptar un software a sus necesidades, proceso que en total insumió alrededor de un año.

Los principales beneficios desde que el sistema está funcionando son la mejora en la eficiencia por el ahorro de tiempo laboral donde el registro deja de ser manual, mejoras en la de detección de errores y fallas de funcionamiento del equipo, y la posibilidad de contar con un registro automático de datos del proceso (p.e.: humedad, temperatura, stock, etc.).

En el caso de la empresa J, con la motivación de continuar una importante trayectoria previa en digitalización y avanzar en un *upgrading* tecnológico de la empresa, ha desarrollado un proyecto integral 4.0 que abarca todo un programa de incorporación de tecnologías y mejoras de este tipo. Al momento tiene implementadas sensorización e IoT en maquinaria de producción y en el *picking* de materiales y sistema de pedidos y soluciones de robótica avanzada para control de calidad que cuentan con software de inteligencia artificial embebido.

Las mejoras implementadas hasta el momento le han reportado toda una serie de beneficios, centrados en la mejora en la calidad a través de la inspección inteligente, mejoras en la eficiencia en reducción de errores y desperdicios en la producción y en la reducción de tiempos de entrega y distribución, así como mejoras en la calidad de la prestación de servicios.

La empresa K instaló una planta automatizada de plegado con la motivación de buscar mejoras en la calidad del producto, una mayor productividad y una mejora en las condiciones laborales para el trabajador. Especialmente por el esfuerzo que demanda el traslado manual de placas que, actualmente, son de gran tamaño. Dado que la planta todavía no está en funcionamiento total, con máquinas que aún no están interconectadas y un sistema de comunicación entre los datos de producción y el resto de las áreas en proceso de implementación, no se vislumbran al momento mayores beneficios.

La empresa L ha implementado la misma solución, con la motivación de abordar la necesidad productiva de programar y planificar más precisamente las tareas de mantenimiento preventivo del equipo, así como mejorar su eficiencia productiva. Entre los principales beneficios que el funcionamiento de este software le ha reportado caben mencionar: el ahorro en costos por menores fallas y paradas de la producción (lo que ha mejorado su relación con los clientes), una mejor eficiencia y precisión en la planificación de tareas de mantenimiento preventivo y una mejorada sistematización y codificación de la información de este tipo de tareas.

La implementación que ha realizado la empresa M de computación en la nube e inteligencia artificial (software de gestión de activos y mantenimiento en tiempo real), ha estado motivada por la necesidad de satisfacer auditorías y de mejorar los controles de mantenimiento. Los principales beneficios han estado en la mejora en la previsión de fallas y en una mayor rigurosidad en la evaluación del desempeño de tareas de mantenimiento.

La introducción de impresión aditiva en el proceso de desarrollo de productos en la empresa N ha estado motivada por la necesidad de reducir los costos de inversión en matricería definitiva durante el período de prototipado y aprobación de productos. En concreto, poder postergar la inversión definitiva durante el período de certificación de nuevos productos⁹. La inversión en matricería definitiva puede llegar a insumir unos u\$s 200.000, mientras la impresión aditiva permite reducir este costo hasta 10 veces durante el período de aprobación, posibilitando postergar la inversión total a condición de que el desarrollo efectivamente logre superar exitosamente las regulaciones necesarias para ser colocado comercialmente.

⁹ Que suele demorar unos 18 meses, llegando a alcanzar el tiempo entre el diseño del producto y su introducción al mercado hasta 42 meses en total.

Este ahorro en matricería definitiva ha sido el principal beneficio, pero que además le permite a la empresa durante este tiempo promocionar y mostrar comercialmente a los clientes su desarrollo, con una terminación de prototipo estética y funcionalmente muy cercana a la versión final.

En el caso de la empresa O la mejora introducida (que aparece como una introducción integral de fabricación 4.0) fue buscada con una motivación de competencia en el mercado. Para operar en el competitivo mercado de piezas especiales una necesidad latente era conocer el tiempo real de producción de cada lote, de forma de poder calcular sus costos de manera precisa y cotizar de forma conveniente. El sistema anterior no les permitía conocer detalladamente esta información, por lo que debían trabajar con tiempos supuestos. El nuevo sistema, una “fábrica inteligente” (máquinas captan la información del proceso productivo y cuentan con una interface que las conecta con las restantes áreas de la empresa a través de un software de gestión) ha generado una serie de beneficios alrededor de una mejor precisión para la cotización de piezas y en el cumplimiento de tiempos de entrega, una mejor información sobre tiempos de trabajo y una mejor gestión en la prioridad de órdenes de trabajo.

Las motivaciones y beneficios de la adopción de tecnologías 4.0 en mipymes industriales argentinas

Desde una visión de conjunto de los casos, en doce de los quince de ellos la incorporación de tecnología 4.0 fue principalmente consecuencia de la necesidad o conveniencia de solucionar uno o más problemas específicos que se le presentaban a las empresas. Los problemas estaban relacionados con un amplio abanico de cuestiones, entre las que cabe mencionar el inadecuado mantenimiento de los activos productivos, fallas en las maquinarias o en los procesos de producción, incapacidad para cotizar adecuadamente pedidos de piezas especiales, inconvenientes en el control de inventarios, etc.

En la mayoría de estos casos, las soluciones implementadas consistieron en la generación de información relevante y de calidad para la toma de decisiones en tiempo real, aunque también hubo casos de inversiones en tecnologías 4.0 motivadas por la búsqueda de obtener mejoras en la calidad del producto final, lograr reducciones de costos y facilitar el aumento de la escala de producción.

Es de destacar que, en dos casos, la incorporación inicial de tecnologías 4.0 fue simplemente consecuencia de la compra de maquinaria moderna que ya traía dicha tecnología incorporada. En uno de esos casos, posteriormente la empresa amplió el uso de la nueva tecnología al conjunto de sus máquinas de modo de obtener información sobre trazabilidad, producción, fallas, *scrap* y mantenimiento.

La otra importante razón identificada en este estudio para la introducción de tecnologías 4.0 es la búsqueda de *upgrading* tecnológico de las empresas, con el objetivo de mantener o acrecentar sus niveles de competitividad. En estos casos está la idea de continuar una trayectoria “histórica” en digitalización de la firma. Nos encontramos con casos aquí donde pesa la experiencia previa en las últimas décadas en dar pasos a la introducción de digitalización tradicional. Varias de estas son mipymes que datan de entre fines de la década de los 1960 y principios de los 1970, que ya cuentan con cierta experiencia en el montaje e integración de un área de informática o sistemas propias y la aplicación de TICs tradicionales a la operatoria de la fábrica. Aunque solo en tres empresas puede ser considerado la principal razón para la introducción de tecnologías 4.0, este motivo está presente, con diferentes grados de importancia, en poco más de la mitad de las mipymes analizadas.

Los beneficios de la incorporación de las tecnologías 4.0 en la mayoría de los casos son indirectos, vía la mejor información para el proceso de toma de decisiones, vía cambios organizacionales o de procesos, vía mejor calidad, mayor predictibilidad, etc. Ello le dificulta a las empresas dimensionar los beneficios económicos y financieros de la adopción de las tecnologías 4.0. Esto posiblemente ayude a explicar que sólo un tercio de las mipymes analizadas mencionó explícitamente como uno de los principales beneficios de la incorporación de las tecnologías digitales el aumento de las ganancias o el ahorro de costos. Esta proporción se eleva a poco más de la mitad si se adicionan los casos con mayores ganancias o menores costos poco significativos.

La mejora de los procesos productivos y la introducción de cambios organizacionales fueron otros dos beneficios mencionados por poco más de la mitad de las empresas estudiadas. Un tercio de las firmas señaló como beneficios las mejoras en calidad y las mejoras en las condiciones de trabajo. Finalmente, tres empresas mencionaron a la mejora en las relaciones con sus clientes y dos a la ampliación de la escala de producción.

Un punto aparte sobre los impactos de la introducción de nuevas tecnologías digitales en las mipymes manufactureras está en su efecto sobre el nivel de empleo. Si bien no ha sido éste un foco del estudio y trasciende el abordaje microeconómico, en el recuadro 1 se resumen algunas de las consideraciones que han surgido a partir de los casos visitados.

Recuadro 1 Las tecnologías 4.0 y el nivel de empleo

Respecto de si la introducción de tecnologías 4.0 en las mipymes analizadas implicó reducciones en sus niveles de ocupación, es de destacar que ninguna de las empresas entrevistadas declaró haber reducido el empleo como consecuencia de la aplicación de estas tecnologías.

Las explicaciones que dieron a ese respecto hicieron alusión a que si bien en algunos casos las nuevas tecnologías pueden haber desplazado de sus funciones a algunos trabajadores, dicho efecto fue bastante marginal y generalmente compensado por nuevos empleos que requiere el uso de la nueva tecnología (mantenimiento de robots y de sistemas, carga de datos, etc.). En la mitad de los casos analizados las respuestas obtenidas fueron en este sentido.

El restante grupo de empresas argumentó, en cambio, que fue el crecimiento en sus volúmenes de producción lo que les ha permitido reasignar los trabajadores desplazados por la tecnología hacia otras funciones al interior de las propias firmas. En estos casos, la introducción de las tecnologías 4.0 no habría implicado pérdidas en el nivel de empleo medido a nivel de empresa, pero podría estar generando pérdidas de empleo en el sector productivo. Acá la idea es la introducción de tecnologías 4.0 le estaría permitiendo a estas empresas mejorar su competitividad y de esa manera ganar porciones de mercado en detrimento de otras empresas del sector, las cuales ante las menores ventas acabarían reduciendo sus puestos de trabajo.

Hay una tercera posible explicación, que no surgió de la respuesta de ninguno de los entrevistados, que se basa en la aplicación inicial y limitada principalmente a la generación de información para la toma de decisiones, por lo que el potencial de estas tecnologías para reemplazar mano de obra todavía no se habría realizado.

A nivel macroeconómico, la situación respecto del empleo se complejiza aún más. Si bien en los sectores productivos usuarios de las tecnologías 4.0 puede hacer cierta disminución en el nivel de empleo - que la evidencia recolectada en este estudio estaría indicando que en la mayor parte de los casos no es muy relevante -, en paralelo el desarrollo de empresas proveedoras de estas tecnologías - en general empresas de software, de ingeniería y servicios especializados y productoras de máquinas y equipos (aunque la mayoría de los robots, sensores y maquinaria provienen de importaciones) -, generan nuevos puestos de trabajo, por lo que el impacto sobre el nivel de empleo de la utilización de estas tecnologías es muy difícil de precisar, aunque la evidencia no apunta que hasta el momento haya pérdidas de empleo a nivel macroeconómico.

Fuente: Elaboración propia.

C. Características de la adopción de tecnologías 4.0

La adopción de tecnologías 4.0 no es necesariamente una alternativa binaria, del tipo adoptó/no adoptó. Por el contrario, en la totalidad de los casos analizados en este estudio se verifica una adopción parcial de estas nuevas tecnologías. Adopción parcial en el sentido que se las aplica "limitadamente" en las empresas. Por lo general se aplican sólo en una o pocas áreas o procesos. Pero el carácter restringido de la adopción de estas tecnologías

se manifiesta principalmente en el bajo/medio nivel de profundización de su uso. Se aprovechan algunas de las ventajas que ofrecen pero —por la escasa interconexión con el resto de equipos y sistemas de la empresa, la falta de inversiones adicionales, o por insuficientes competencias de la empresa— se deja de lado gran parte de su potencial.

Lo predominante y más destacado de los proyectos estudiados es la incorporación, desarrollo e implementación de algún tipo de software o sistema que posibilite la recolección de información instantánea de la producción a partir de la maquinaria. Este tipo de datos se utiliza en los mejores casos para la toma de decisiones, en ocasiones procesados en alguna serie de indicadores, pero esta toma de decisiones tiende a ser humana. Son excepcionales los casos identificados en nuestro estudio de experiencias de implementaciones de machine learning, inteligencia artificial y data science, para que la propia maquinaria tome decisiones o aprenda.

En consecuencia, lo que se observó en el trabajo de campo son mipymes que están en una zona gris entre el adoptó o no adoptó “el ideal” de la tecnología o la tecnología en su máximo potencial. En este sentido, es posible referirse a “gradientes” de adopción de las tecnologías 4.0.

Una parte de la explicación de porqué priman las adopciones parciales puede ser dada utilizando el esquema de Fases de Implementación de las nuevas tecnologías digitales que conforman la industria 4.0 (ver sección A.), más allá que no siempre sea posible ubicar en qué fase del proceso de adopción de la tecnología está transitando cada empresa como parece desprenderse de dicho esquema. En el mismo la adopción de una tecnología sigue una lógica secuencial. Se comienza por una Fase Inicial donde se invierte en el establecimiento de la infraestructura de base, como software de gestión, sensores con conectividad, PLCs, placas HMI, ampliaciones de la conectividad, etc. Una vez acabada esa primera fase se pasa a la Fase de Implementación, comenzando los procesos de digitalización y extracción de información, con sistemas de recolección de datos, almacenamiento o *picking* “inteligente” u optimizado, y aplicaciones en la nube. El proceso de adopción se completa con la Fase de Expansión, caracterizada por la fabricación inteligente y que involucra la generación de sistemas autónomos que interactúan con el entorno y son capaces de predecir funcionamientos y actuar en respuesta y retroalimentación a ello.

En siete de las empresas entrevistadas (empresas A, B, D, I, J M y O) es posible identificar de algún tipo de estrategia gradual de adopción, aunque sólo en tres casos (empresa A, J y O) esa idea gradualista prevé la incorporación de las nuevas tecnologías digitales a toda la organización, y hay un solo caso con planes concretos de avanzar hacia la fabricación inteligente con aplicación de IoT, robótica avanzada, Big Data y sistemas de inteligencia artificial (empresa J). También es interesante destacar que en cinco de estas siete empresas, la motivación principal para la inversión en tecnologías 4.0 fue encontrar una solución a un problema específico que enfrentaban las empresas. Ello no se materializó simplemente en una adopción puntual de alguna de dichas tecnologías. Sino que, en ciertos casos, las empresas a medida que han ido adoptando y conociendo mejor la tecnología han decidido profundizar y/o extender el ámbito de su aplicación, o en otros casos, la misma solución del problema específico requirió esfuerzos de incorporación de la tecnología distribuidos en el tiempo. Pero en la mayoría de los casos, esta difusión gradual de la tecnología se aplica en las “cercanías” del problema a resolver y sólo excepcionalmente se extienden a las restantes áreas de las empresas.

Pero la adopción parcial de las tecnologías 4.0 en algunas otras de las empresas visitadas tiene características muy diferentes. En seis¹⁰ de las empresas analizadas la introducción parcial de estas tecnologías no forma parte de un proceso, ni tiene un carácter gradual, ni se observa una estrategia secuencial de avanzar en el uso de las

¹⁰ En dos casos (empresas E y K) la información recabada en las entrevista no fue pertinente para conocer las razones de la aplicación parcial de estas tecnologías.

mismas (empresas C, F, G, H, L y N). Por el contrario, su adopción fragmentaria ha sido el resultado de una decisión puntual con un objetivo preciso, que una vez cumplido no requiere una profundización o extensión en el grado de uso de las mismas. Por ejemplo, en el caso de las empresas F y H respondió a la necesidad de actualizar maquinaria deteriorada o ya amortizada. Como los proveedores no ofrecían más el equipamiento “antiguo”, debieron incorporar equipos provistos de sensores y con un software incorporado.

Otra parte de la explicación del carácter parcial de la adopción de estas nuevas tecnologías digitales reside en limitaciones de las competencias gerenciales de varias de las mipymes adoptantes, lo cual —a su vez— les impide aprovechar gran parte de sus potencialidades. Las nuevas tecnologías digitales requieren para desarrollar todas sus potencialidades transformar casi completamente las prácticas de las empresas, la manera en que toman sus decisiones, su forma de producir y de hacer las tareas de mantenimiento, su política de recursos humanos, la forma en que se relacionan con clientes y proveedores, pudiendo hasta requerir cambios en el modelo de negocio.

Pero muchas mipymes no tienen cuadros gerenciales suficientemente capacitados, ya sea para entender la conveniencia de realizar ciertos cambios o para determinar la dirección que los mismos deben tener. En consecuencia, en varias de las empresas estudiadas se mantienen prácticas productivas y organizacionales que pueden haber sido adecuadas para el modelo tecnológico anterior, pero que no permiten aprovechar adecuadamente las potencialidades de las tecnologías 4.0.

Esto se manifiesta claramente al describir el uso que algunas de las empresas industriales estudiadas hacen de las nuevas tecnologías digitales. Estas se utilizan como si se tratara de tecnologías digitales tradicionales, desperdiciando de esa manera gran parte del potencial de las mismas. Ello se refleja en el hecho de que en muchas de estas experiencias, donde se incorporan sensores y conectividad a los equipos, haya una escasa atención en el almacenamiento de la información, con casos donde la misma directamente se pierde a diario (caso de empresa C) o a los pocos días (caso de empresa H), o una subutilización de los datos que se generan y una desorientación sobre su utilidad¹¹ (empresas F y G). En los mejores casos dicha información se procesa en la forma de indicadores para la toma de decisiones “humanas”, pero se visualiza una falta de capacidades internas para implementar mejoras en sus equipos que le permitan a la propia maquinaria aprender y tomar decisiones, aunque sea de modo asistido. No se han apreciado esfuerzos en los casos estudiados por recurrir a instituciones en CyT, Universidades o Institutos técnicos para suplir tal falencia.

Sin dudas que hay otros motivos que también ayudan a explicar las características que ha adoptado la incorporación de tecnologías digitales en las mipymes argentinas. Uno, que aparece con frecuencia en la literatura que describe estos procesos en economías desarrolladas, es que la extensión o profundización de su empleo puede no resultar rentable para las empresas, por muy diversos motivos. Por lo que las empresas esperarían hasta que el cambio en las condiciones de oferta de la tecnología o de los mercados que ellas abastecen lo requieran. Como señala la empresa H: “Tan pronto como nosotros detectemos que puede haber una ventaja competitiva respecto de competidores locales o de competidores externos, basada en eso [en explotar los datos que proveen las máquinas], nos vamos a poner a trabajar seguramente”.

Otro grupo de motivos muy relevantes para explicar este carácter parcial que tiene la difusión de las tecnologías digitales entre las mipymes es que existan factores que obstaculicen su adopción, extensión y/o profundización de su uso. En el próximo capítulo exploramos algunos de los obstáculos que han afrontado los casos estudiados, y cuáles de estas barreras siguen operando como limitantes.

¹¹ Lo que no es de modo alguno una práctica exclusiva de las pymes. El trabajo de campo y las entrevistas con informantes y proveedores han corroborado que el desaprovechamiento de datos que generan los sistemas robotizados constituye una subutilización en la que las incurrirán también las grandes empresas, tanto nacionales como multinacionales.

LAS LIMITACIONES PARA LA INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN MIPYMES EN LA ARGENTINA Y CÓMO AFRONTARLAS



El estudio ha permitido identificar una serie de obstáculos presentes en la adopción de nuevas tecnologías digitales. La subsección siguiente sistematiza estos resultados, centrándose en la presentación de los limitantes que han surgido de la investigación cualitativa realizada. A continuación, en la subsección B, nos concentramos en la manera en que las mipymes adoptantes que se han estudiado han podido, en ocasiones, sortear muchos de estos obstáculos. De ambas lecciones, es que la subsección C presenta algunas propuestas de políticas para procurar paliar estas barreras a un conjunto más amplio de mipymes de la región.

A. Obstáculos y limitaciones de las mipymes para adoptar nuevas tecnologías digitales

La baja demanda de tecnologías 4.0 por parte de las mipymes industriales puede responder, en parte, a una serie de obstáculos que éstas afrontan en este proceso. En lo que resta de esta sección, se abordan los principales resultados del análisis cualitativo que sistematizan los principales obstáculos identificados en los casos de estudio, con miras a pensar algunas posibles formas de abordarlos a través de la política pública, fundamentalmente de modo microeconómico.

El recuadro 2 resume los obstáculos identificados, sin un orden o nivel de importancia. Se presentan, primeramente, los obstáculos sobre los que las empresas tienen, o al menos deberían tener, un mayor control (como el conocimiento de la tecnología, el nivel de sus competencias digitales internas, aspectos culturales y organizativos respecto al cambio, el volumen de transacciones). Posteriormente se presentan aquellos se encuentran más fuera de control de las empresas (como el tamaño de las inversiones necesarias en un contexto recesivo, deficiencias en la infraestructura de conectividad o algunas insuficiencias en la oferta de tecnologías 4.0) o qué bien se derivan de las propias características estructurales de las mipymes (como es el elevado grado de diversificación productiva que las caracteriza en Argentina y los niveles de sofisticación de la demanda o la propia naturaleza de la actividad productiva de la empresa).

Recuadro 2

Obstáculos identificados en la adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes argentinas

1. Falta de conocimiento de la tecnología
2. Deficiencias en competencias digitales internas
3. Cultura, hábitos organizacionales y resistencia al cambio.
4. Reducido volumen de transacciones
5. Dificultad de acceso al financiamiento y tamaño de la inversión
6. Limitaciones de la Infraestructura de Conectividad
7. Algunas insuficiencias en la oferta de tecnologías 4.0
8. El elevado grado de diversificación productiva de las mipymes industriales en Argentina
9. Baja sofisticación de la demanda y la propia naturaleza de la actividad productiva de la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

Falta de conocimiento de la tecnología

Desde la perspectiva de los proveedores de nuevas tecnologías digitales, el desconocimiento de las propias características de la tecnología es una barrera a su adopción por parte del universo de las mipymes, teniendo en cuenta además que en el entramado productivo se mantiene el rezago en la adopción de las tecnologías que se corresponden con la digitalización y automatización “tradicional”. La falta de conocimiento del funcionamiento y características de las nuevas tecnologías digitales es un obstáculo particularmente relevante para las empresas que no han iniciado ningún tipo de mejoras de este tipo, como se deriva de las entrevistas con proveedores de estas tecnologías.

No es la perspectiva del caso de las mipymes que hemos estudiado que efectivamente han iniciado alguna implementación en esta dirección, que se trata de una porción muy pequeña del entramado productivo. En estos casos, han contribuido centralmente a difundir las características y funcionalidades de los avances sus propios proveedores de maquinaria y sistemas. Esta influencia se ha realizado, tanto de modo directo con las mipymes clientes, como de modo indirecto en exposiciones, presentaciones y demostraciones en ferias empresariales. Otros actores que han contribuido a difundir el conocimiento sobre la tecnología han sido otras empresas usuarias de estas tecnologías y las cámaras empresariales.

Algunos tipos de proveedores (en robótica, impresión digital, IoT) se involucran en actividades educativas, de capacitación y de difusión muy frecuentemente. En ocasiones estas actividades se realizan en colaboración con Cámaras, como parte de muy diversas jornadas, ferias o exposiciones, pero también de modo descentralizado y de manera autónoma por proveedores individuales.

En ninguno de los casos de mipymes estudiados la falta de conocimiento de las tecnologías es un obstáculo operante para su incorporación. En todos los casos donde la operatoria o condiciones de la tecnología ha generado alguna duda, el apoyo y la capacitación de los proveedores la ha podido resolver. Asimismo, la participación en ferias es lo que ha brindado el conocimiento inicial sobre la existencia de las mismas. En el caso de impresión aditiva, también las actividades de difusión de Universidades e Institutos Tecnológicos de diseño que promovían estas herramientas, han contribuido a su mejor conocimiento.

Sin embargo, en muchas ocasiones se entra en contacto con la existencia de estas tecnologías, pero no se comprende qué utilidad puede tener dentro de la propia actividad productiva. La relación costo/beneficio entonces es percibida de un modo

distorsionado, pues la aplicación de la nueva tecnología es comparada con la aplicación de la tecnología tradicional. Por ejemplo: comparar los costos (y tiempos) de impresión aditiva con los costos de producción en serie, es una medida distorsionada de la aplicación de la nueva tecnología. El nivel de personalización para la producción en muy pocos modelos genera un beneficio económico particular que no está presente en la producción en serie y que debe ser considerado.

Es importante reconocer que los beneficios económicos que puede traer aparejada la inversión en nuevas tecnologías digitales no son de modo alguno inmediatos, tienen un importante componente de incertidumbre y se van obteniendo —dada la práctica de implementación por fases— de manera incremental. Estas características dificultan, y en muchos casos directamente impiden, a los empresarios mipymes tener una adecuada percepción sobre los beneficios de utilizar tecnologías 4.0.

Un ejemplo de ello es la percepción que tienen muchas mipymes sobre los costos y beneficios adicionales de incorporar IoT en sus productos finales. En tanto la incorporación de dicha tecnología demanda a la empresa costear una estructura que mantenga las interconexiones, recoja datos y, eventualmente procese esa información, los beneficios no son fácilmente cuantificables y se los percibe principalmente como mejoras en funcionalidad para el usuario final. Desde la visión de varios proveedores de IoT para bienes finales, las mipymes industriales no logran visualizar esta incorporación como un canal instantáneo de información para nutrir sus procesos de innovación, la investigación de mercado, la mejora continua de productos y el perfeccionamiento de todos los servicios de posventa y mantenimiento, u optimización en la propia distribución. El aprovechamiento de esta tecnología en muchos casos implica modificar el modelo de negocios de la empresa, de ahí la dificultad de mensurar su aporte a los beneficios futuros para la empresa, lo que en alguna medida puede ayudar a explicar la adopción parcial de algunas de estas tecnologías (p.e.: la incorporación de sensores a la maquinaria sin un software de big data o sin almacenar la información), que se han centrado en solucionar alguna problemática puntual.

Deficiencias en competencias digitales internas

La necesidad de contar con ciertas competencias digitales en informática cobra relevancia en dos instancias de la adopción de tecnologías 4.0: para iniciar la trayectoria hacia las nuevas tecnologías digitales y para profundizarlas en la explotación de grandes volúmenes de datos.

Un factor crítico para que las mipymes industriales se inicien en este tipo de tecnologías 4.0 es contar con competencias previas en digitalización. Ello se destaca tanto de las experiencias estudiadas de mipymes implementadoras, como por las limitaciones observadas por los proveedores de estas tecnologías. De este modo, lo que ha sido un factor crítico para unos, opera como una barrera para otros. La ausencia de un área de informática en la estructura organizacional, así como la falta de competencias informáticas previas dentro de la empresa, es una barrera relevante en este proceso de adopción. En los casos donde hemos verificado mipymes que inician este camino de complejización hacia las nuevas tecnologías digitales las competencias iniciales se han nutrido de diversa manera (la incorporación de personal con formación en informática, la capacitación del personal existente en estos terrenos y diversos procesos de aprendizaje interno) y se ha materializado en el establecimiento de un área en la estructura de la empresa abocada a esta función. En los casos estudiados en que la empresa no ha contado con una estructura de sistemas interna, ha debido contratar externamente esta función (p.e. empresa E). Sin embargo, hasta en estas condiciones, resulta necesario el contar con personal dentro de la empresa capaz de

intermediar, interactuar y comunicarse con el proveedor de esta función en materia de sistemas. De esta manera, al menos el contar con competencias digitales iniciales es necesario en toda situación.

En el caso de la empresa A la propia motivación de emprender proyectos en incorporar mejoras 4.0 se desprende de continuar como “naturalmente” la trayectoria en digitalización de la empresa, dado que en sus plantas poseen un alto nivel de computarización de décadas atrás. En la empresa B los propios implementadores internos tienen formación en electrónica y en software. Tanto la empresa I como la empresa F cuentan con un área de sistemas. En ésta última el área de sistemas cuenta con más de 20 años de antigüedad, y que tuvo una importancia crítica en la integración de los sistemas de gestión de la empresa a la experiencia de incorporación de conectividad a la maquinaria de producción. La empresa E debió externalizar las tareas de sistemas, contratándose a una empresa informática.

Desde la perspectiva de los proveedores de nuevas tecnologías digitales la ausencia de una contraparte “informática” en las estructuras organizativas de las mipymes para la comunicación es un obstáculo para la adopción. Muchas mipymes no cuentan con un área de sistemas, o siquiera personal con formación en informática. Ello es mucho menos frecuente que ocurra en organizaciones de mayor dimensión, lo que ubica a las grandes empresas en mejores condiciones para realizar estas incorporaciones. Entonces, independientemente del tamaño de la inversión de las tecnologías en sí, pueden ser necesarias inversiones complementarias en el desarrollo de un área informática.

Por poner el caso, en incorporación de IoT a sus productos finales, se torna necesario mantener un sistema capaz de receptar, almacenar y procesar los datos e información de los dispositivos y productos conectados; lo que implica un costo adicional complementario de recursos (p.e.: mantener un servidor, mantener las bases de datos, etc.). Muchas mipymes no cuentan con una infraestructura organizacional para esta actividad, un departamento de informática que pueda asignarse a esta labor. Se torna, por tanto, necesaria una inversión complementaria.

Por otro lado, la carencia de personal capacitado en el área de sistemas puede explicar al menos parcialmente el porqué del atraso relativo de algunas mipymes respecto del registro y acumulación de información proveniente de sus equipos. Probablemente en esta área sea donde aparecerán los principales obstáculos en el futuro a la profundización del proceso de automatización avanzada, donde es notorio el “desaprovechamiento” de los elevados volúmenes de datos e información que generan las máquinas.

Si para iniciarse en la trayectoria de las nuevas tecnologías digitales son necesarias algunas competencias informáticas previas, para profundizar la implementación son necesarias una gama más amplia de competencias gerenciales, productivas y organizacionales. La falta de competencias para la explotación de grandes volúmenes de datos e incorporar aprendizaje artificial al proceso productivo y así, “continuar y completar el trayecto hacia 4.0” aparece como un obstáculo generalizado en los estudios de casos.

Cultura, hábitos organizacionales y resistencia al cambio

La inercia organizacional en las prácticas productivas es un obstáculo habitual para la adopción de todos estos tipos de nuevas tecnologías digitales, tanto para la implementación de las mismas, como para la incorporación del hábito de su uso diario. Ello ha sido destacado tanto por los usuarios de estas mejoras, como por parte de sus proveedores.

Ocurre fundamentalmente porque implica un cambio en la forma de hacer las cosas, cuyos beneficios no son plenamente percibidos *ex ante*, respecto a la manera

de operar anteriormente. En el momento de implementación de las mejoras, implica una carga adicional de trabajo para el personal, que sobrecarga la jornada laboral, lo que retarda el pleno funcionamiento de las mismas.

Por ejemplo, la incorporación de sistemas gestión de activos y mantenimiento en tiempo real exigen para que se efectivicen sus beneficios, un largo período de trabajo de "data entry" manual sobre todos los activos de la empresa (p.e.: maquinaria, medios de transporte, medios de elevación, luminaria, mobiliario, etc.), así como todos sus componentes, especificaciones y mantenimientos necesarios. Este es un punto de partida para la generación de órdenes de trabajo y para que el sistema pueda comenzar a ganar en predictibilidad y a retroalimentarse con información nueva (como es en los casos de las empresas K y L). Este período de carga en algunas ocasiones ha demorado varios años, retardando la plena operación del sistema.

No se han identificado en esta instancia compensaciones monetarias a los trabajadores involucrados por esta labor extra, que aparece más bien como de índole administrativa. En las mipymes este factor se ve engrandecido, dado que muchos de los procedimientos de trabajo no están documentados digitalmente, lo que genera un alto costo inicial de digitalización, comparado con organizaciones más desarrolladas.

Esto opera como una limitante en las mipymes, dado que deberían afrontar un alto costo inicial de digitalización de los procedimientos; en muchas ocasiones directamente resistido por estas empresas dado que en el carácter idiosincrático y tácito de muchas de sus operatorias es donde descansan al final y al cabo sus ventajas competitivas; y en el hecho de que implica agregar un tipo de tarea a la operatoria diaria: la carga digital de todo lo que se haga. Esto es porque, por mucha información que las nuevas maquinarias puedan sensar automáticamente, el monitoreo, la actualización y la carga humana de datos no deja de ser nunca necesaria.

En el momento de la propia operatoria de la mejora la inercia organizacional ha operado como una limitación, dado que no se observan anticipadamente los beneficios de realizar las cosas de una manera distinta, que ya funcionaban bien de alguna otra manera (casos de empresas L y F). Como adicionalmente implica incorporar la tarea de documentar digitalmente las tareas habituales y mantener el flujo de datos actualizado, agrega tareas y responsabilidades al trabajador, además de cambiar la manera en que trabaja. En este caso sí se ha identificado el cómputo de horas de trabajo a la labor administrativa extra, como parte de la jornada laboral. Aquí aparece un potencial problema de índole gremial que debe ser tenido en cuenta y satisfecho, porque aparecen más funciones por trabajador por el mismo salario.

En la mayoría de los casos estudiados, este tipo de obstáculos relacionados a la inercia organizacional ha sido superado por demostración en la práctica de los beneficios de la implementación, que en muchos casos van a mejorar y facilitar las condiciones de trabajo; en ocasiones a través de capacitación y en la mayoría de los casos por mera imposición. Los proveedores de muchas de este tipo de tecnologías colaboran con afrontar estas limitaciones ofreciendo capacitaciones y trabajando en el área educativa.

También la resistencia e inercia organizativa han aparecido cuando la mejora ha implicado la tercerización de las tareas que se consideran neurálgicas para la actividad de la empresa. Este obstáculo es más operante cuando ésta se aplica en las áreas de diseño y desarrollo de productos, en los tipos de actividades productivas más complejas (p.e. equipamiento médico, o electrónica). Ello se relaciona al riesgo que implica la pérdida del control (o transferencia de conocimientos a terceros) de alguna etapa fundamental del proceso productivo de parte de los dueños o administradores de la empresa. Por ejemplo, en el desarrollo de matricería para partes y componentes en el diseño de innovaciones de productos, como es el caso de la empresa N. Si bien

en este caso, también el obstáculo se resolvió con demostración en la práctica y capacitaciones, ha entrado en juego la evaluación de la internalización de la actividad.

Reducido volumen de transacciones

Opera una cuestión de escala en las mipymes que torna menos atractivas las tecnologías 4.0 que en organizaciones mayores. Por un lado, los proyectos de robótica avanzada por lo general, son rentables en grandes volúmenes de producción, volúmenes que suelen estar muy alejados de las posibilidades productivas de una mipyme.

Ello se aplica asimismo para el uso de realidad virtual para tareas de capacitación: gana en rentabilidad cuando la organización tiene un mayor volumen de personal que capacitar rutinariamente. De hecho, el estudio de campo ha identificado solamente casos de grandes empresas que aplican este tipo de tecnologías, que por el tamaño de inversión necesaria (ver inciso siguiente) están vedadas para las mipymes.

Por otro lado, en lo que es aplicaciones de inteligencia artificial (*big data, machine learning*) al área comercial y de marketing, su aplicabilidad cobra sentido ante una elevadísima cantidad de transacciones o de clientes, lo que no se aplica frecuentemente a la pyme argentina, que generalmente cuentan con menos de 1 millón de transacciones mensuales.

Dificultad de acceso al financiamiento y tamaño de la inversión

El costo de la inversión es uno de obstáculos principales para implementar nuevas tecnologías digitales, con costo de equipos que en muchos de los casos no son asequibles para las mipymes. Muchas de estas soluciones tienen un costo importante en hardware que hay que considerar. Si bien hay impresoras digitales económicas, el costo de una impresora industrial 3d puede ascender a u\$s 80.000. Una estación de realidad virtual tiene un costo de alrededor de unos u\$s50.000 solamente en hardware (cascos virtuales, guantes y fajas con sensores, omnis, pcs, etc.)¹². En el caso de incorporación de internet de las cosas a la maquinaria, si bien la instalación de sensores no parece ser un impedimento económico (o bien muchos equipos lo tienen incorporado, o bien no suele ser costoso), se torna necesario incorporar dispositivos de interface, tales como tablets o monitores HDMI, cuyo costo va a ser proporcional a la cantidad de equipos que es necesario conectar. A todo el hardware necesario, hay que agregarle el costo de horas de desarrollo de software, que no siempre viene embebido y que, por lo general, no sería conveniente que lo tuviera incorporado, dado que la personalización a las especificidades de cada firma es relevante en extremo para que tenga sentido esta transformación.

Por lo general, dada la virtual inexistencia en Argentina de un mercado de capitales para mipymes y dadas las dificultades para el acceso a financiamiento (tanto en término de tasas como de montos), estas inversiones tienden a no ser asequibles para las mipymes industriales, máxime en contextos de achicamiento del mercado

¹² El estudio de campo ha posibilitado entrar en contacto sólo con casos de grandes empresas que aplican este tipo de tecnologías. En la provincia de Córdoba, puede mencionarse el caso de una empresa química (más de 400 ocupados), que ha instalado en 2014 unas 6 estaciones de realidad virtual para capacitación a su personal en higiene y seguridad, donde todo tipo de personal (operarios, transportistas, gerentes, contratistas) recibe capacitación, primeramente de inducción, su puesto y función, y donde se simulan diversas situaciones posibles de riesgos y accidentes. Ello demandó una inversión específica, donde el hardware (cascos virtuales, guantes y fajas con sensores, omnis, pcs, etc.) de cada estación tiene un costo de alrededor de unos u\$s50.000, más el costo de las horas de desarrollo del software de realidad virtual. Esta experiencia los ha motivado a avanzar en la incorporación de realidad aumentada a las tareas de mantenimiento preventivo de la maquinaria. Difícilmente sea rentable para una Pyme invertir en una estación de realidad virtual (con un costo que parta de los u\$s50.000) para suplantar un proceso de capacitación que se realiza o bien con una plantilla de slides en una sala y un capacitador, o bien en el puesto.

interno (que es el principal perfil de mercado de las mipymes argentinas) y elevada incertidumbre macroeconómica. Si pensamos lo que es robótica avanzada, ya las inversiones necesarias son significativas, y directamente prohibitivas para mipymes. Los montos de referencia que pueden ejemplificarse, han sido realizados por firmas que ya califican como grandes¹³.

En las ocasiones que el limitante del financiamiento ha podido ser superado, ha cobrado relevancia el apoyo de los vendedores del equipo, tanto ofreciendo ayuda para la obtención de los créditos como el financiamiento a plazo de los mismos (empresas C, D y J). También algunas empresas han podido sortear esta barrera recurriendo a una combinación de fuentes de financiamiento internas y externas (créditos públicos y privados) en moneda nacional, a modo de protección de la inestabilidad cambiaria (empresa J), o a tasa subsidiada (empresa O).

Pero en la mitad de los casos estudiados los fondos provenientes de las propias organizaciones ha sido la única o principal fuente de financiamiento. Ello se ha visto reflejado en que se ha avanzado en áreas donde la inversión necesaria es más baja, especialmente en la implementación de software y la instalación de sensores (empresas F, G e I), o en proyectos un poco más ambiciosos de Industria 4.0 pero que exhiben limitados grados de implementación (empresas A y K).

El apoyo público, a través de aportes no reembolsables o subsidios a la tasa de interés que pagan las empresas, ha estado prácticamente ausente en los casos relevados. Sólo una de las empresas incluidas en el estudio ha conseguido acceder a un crédito a tasa subsidiada para financiar sus inversiones. Otra (empresa A) se postuló para recibir aportes no reembolsables del Ministerio de la Producción de la Nación, pero éste dio de baja el programa y la empresa debió desacelerar sus planes de inversión.

El acceso al financiamiento continúa siendo en general un obstáculo operante, incluso para las empresas que han emprendido algún proyecto en esta dirección que requieren volúmenes de inversión limitados, tales como implementaciones más “blandas” intensivas en horas de desarrollo y programación. Éstas dependen de que la operatoria económica diaria de la firma en un contexto macroeconómico adverso les permita asignar internamente horas de trabajo al desarrollo del proyecto, ante la falta de recursos excedentes para subcontratar o tercerizar la implementación (empresas A y B). Ello se refleja en proyectos que avanzan con frecuentes interrupciones, por etapas que se materializan en los momentos que la operatoria diaria lo permite y se detienen cuando no, pudiendo o no retomarse luego.

Limitaciones de la infraestructura de conectividad

En varios de los casos de mipymes industriales que hemos analizado y que efectivamente están en proceso de implementación de alguna de estas transformaciones, han tenido que sortear la cuestión de mejorar, ampliar o complementar su infraestructura en conectividad. Dejando de lado los establecimientos microproductivos (empresa B), en el resto de mipymes estudiadas la inversión en conectividad puede ser más o menos onerosa según el caso, consistir incluso en la mera ampliación de la cobertura y/o capacidad de la conectividad a toda la planta industrial (empresas A, F y M) en zonas

¹³ La información secundaria puede dar una idea de dimensión: la inversión realizada por la empresa Alladio rondaría los \$70 millones de pesos durante el período 2012-2015. Sinteplast, una empresa fabricante de pinturas, estaría invirtiendo solamente en su nuevo depósito automatizado unos u\$s 23 millones, sin contabilizar las inversiones necesarias para la automatización de la planta productiva y de la implementación de su software de optimización de recorridos y transporte (Basco, et al., 2018). La propia inversión de la empresa C, que hemos estudiado y están en los bordes de una mediana (por ocupación) empresa para grande (por facturación), rondó los u\$s 15 millones en 2014.

urbanas industriales, pero presenta todo un desafío en materia de infraestructura pública en áreas alejadas o rurales, donde no llegan siquiera las redes 4g o señales de celular.

Tal ha sido la experiencia de la empresa H, que cuenta con maquinaria ubicada en plantas de procesamientos de residuos en basurales, donde tienen una mala, muy mala o inexistente conectividad. Por tanto, la recolección de datos es subutilizada y éstos se almacenan en la memoria física de los respectivos PLC del equipo, y se pierden si no son recolectados en pocos días. Esto limita la posibilidad de hacer un aprovechamiento de *data science* de la información generada a través de sensores. Pero incluso el ancho de banda disponible en la planta ubicada en la zona urbana muestra sus límites en la descarga de la información recolectada por el equipamiento: “Está lindo poner todo en la nube, pero tengo que poder llegar a la nube” (entrevista a empresa H).

La extensión de la IoT en general depende crucialmente de la extensión de redes de conectividad. Diversos estudios privados estiman que con la expansión de la IoT en pocos años el tráfico IP generado por objetos y dispositivos conectados superará al tráfico de PCs: se estima que habrían actualmente casi tantas conexiones máquina-máquina (M2M) como habitantes en el mundo (CISCO, 2017)¹⁴. A las tasas de incorporación de objetos a la red, el informe estima que para 2021 la cantidad de dispositivos conectados a las redes IP será tres veces mayor a la población global, alcanzando casi 3,4 dispositivos per cápita (CISCO, 2017) y que para 2022 habrá 1,8 conexiones M2M por persona a nivel mundial (CISCO, 2018).

En suma, la cuestión de la infraestructura de conectividad será un desafío si las transformaciones hacia nuevas tecnologías digitales se expanden en la región, lo que coloca en una situación de particular precariedad a las mipymes, principales candidatos a la exclusión digital. Cabe reflexionar sobre este punto en el contexto de una economía periférica, donde acucian aún situaciones de exclusión digital de seres humanos, si los potenciales beneficios justificarán la realización de inversiones en infraestructura para mejorar la conectividad de objetos y máquinas.

Los problemas de conectividad ayudan a explicar parcialmente porqué en las mipymes que han iniciado alguna de estas transiciones, el almacenamiento en la nube de datos de producción (incluso de tipo administrativos o de gestión) es bien escaso, para quienes realizan almacenamiento. Predominan las experiencias con servidores físicos o unidades físicas de almacenamiento (casos de empresas A, F y H), en ciertos casos por propia desconfianza de la seguridad de mantener información importante de la empresa en servidores online. Más extendido está el uso de sistemas de este tipo para el monitoreo en línea de los inventarios y stocks.

Algunas insuficiencias en la oferta de tecnologías 4.0

Podemos mencionar de tres tipos de limitaciones: la oferta de algunos tipos de proveedores (impresión 3d), la ausencia de una oferta de mejora de maquinaria tradicional y dificultades en el desarrollo de software a medida.

La oferta local de nuevas tecnologías digitales es diversa y relativamente amplia. Todos los segmentos cuentan con oferentes con capacidades y condiciones para asegurar una provisión de este tipo de tecnologías: desde las implementaciones que demandan mayor inversión de capital, como la provisión de robótica avanzada, sensores e Internet de las cosas o realidad virtual y aumentada, como aquellas de tipo más blando, que involucran desarrollo de sistemas de software para la conectividad, del tratamiento de grandes datos (*big data* y *machine learning*) como de inteligencia

¹⁴ El estudio señalaba que en 2018 habría ya algo más de 7.000 millones de conexiones M2M globalmente, lo que representa aproximadamente una conexión M2M por persona (CISCO, 2017, 2018).

artificial. Sin embargo, se ha identificado algunas falencias en la oferta de impresión aditiva. Si bien la impresión aditiva posibilita producir piezas y productos altamente personalizados, evitando por ejemplo, el costo en matricería definitiva durante un proceso de certificación como el de un equipo médico; los pedidos en bajas escalas (pocas piezas para prototipos) desalientan el desarrollo de una oferta local más desarrollada de este tipo de servicios. La baja demanda no justifica mantener un stock de insumos especiales de los proveedores de impresión 3d (por ejemplo, de alguna resina degradable) o una mayor oferta estética (p.e. en cantidad de colores, etc.). La oferta desde el extranjero gana terreno en este aspecto.

En segundo lugar, si bien en términos generales, la disponibilidad de proveedores de nuevas tecnologías digitales no aparece como un obstáculo para su adopción, no es el caso respecto de la provisión de la incorporación de nuevas tecnologías digitales a maquinaria de producción ya instalada. No existe una oferta adecuada de proveedores, por ejemplo, de robótica avanzada e IoT, que ofrezca solamente la incorporación de la mejora al equipo existente de las mipymes. Los proveedores extranjeros tienden a ofrecer la tecnología embebida o incorporada en maquinaria nueva. Aquí aparece una ventana de oportunidad para la política pública, en paliar la ausencia de proveedores focalizado en el *upgrading* del equipo que ya disponen las mipymes industriales, para “hacerlo 4.0”; que será más asequible en términos de costos para las mipymes que comprar un paquete tecnológico incorporado en maquinaria extranjera. Por otro lado, en ocasiones es el propio proveedor de maquinaria quien obliga a avanzar en la incorporación del nuevo tipo de equipamiento, pues deja de fabricar equipos antiguos, lo que relativiza el grado de libertad de las mipymes para no optar por estas tecnologías cuando quieren aumentar su escala y capacidad productiva.

Una salida que se ha identificado en los casos es proceder al desarrollo por su cuenta. Esto es, comprar hardware de interface y almacenamiento de datos, invertir horas de trabajo del personal en instalar sensores y en diseñar un sistema a medida, y la contratación del servicio de desarrollo de software para la implementación (Caso de empresa A). Tanto en este, como otras experiencias, retardos en el cumplimiento de los tiempos de desarrollo de software a medida por parte de los proveedores locales han operado como una dificultad en el proceso de implementación (casos de empresas A y O).

El elevado grado de diversificación productiva de las mipymes industriales en Argentina

La inestabilidad macroeconómica que ha caracterizado a la economía argentina a lo largo de gran parte de su historia ha dejado sus huellas en las características productivas del tejido pyme manufacturero. Una de esas características es el alto grado de diversificación productiva de las empresas (al menos cuando se las compara, por ejemplo, con empresas similares de Europa), que se refleja en un bajo nivel de especialización, tanto a nivel de productos como de procesos (Farinelli, 2008, Motta, 1996, Yogue, 2000). Este tipo de estrategia productiva es en buena medida explicativa de los factores de supervivencia, flexibilidad y permeabilidad productiva ante los avatares de niveles de demanda y contratos fluctuantes en contextos de alta inestabilidad macroeconómica.

Pero, en contrapartida, esta baja especialización productiva afecta significativamente el tipo de inversiones que las empresas realizan y sus escalas de producción. Gran parte de la maquinaria que se utiliza en el tejido productivo local ha sido diseñada en los países industriales líderes para producir una gama reducida de productos en elevadas escalas, por lo que con cierta frecuencia deben ser adaptadas por las pyme nacionales para poder ofrecer decenas o cientos de tipos de productos. En otros

casos, las empresas priorizan la adquisición de equipamiento más de tipo “general”, apto para su utilización en una amplia variedad de procesos o de productos, aunque pertenezca a una generación tecnológica anterior. Además las empresas diversificadas deben distribuir sus inversiones entre un elevado número de máquinas y equipos para poder realizar los variados procesos productivos de los diferentes productos ofrecidos.

En cambio, una empresa especializada en productos o procesos puede concentrar todas sus inversiones en un número reducido de equipos, lo que le brinda la posibilidad de elección y acceso a tecnologías más modernas y costosas.

Por otro lado, si se comparan dos empresas de similar tamaño, una muy diversificada y la otra muy especializada, la primera exhibirá una escala de producción, por producto o por proceso, muy inferior a la segunda.

Las visitas y los estudios de caso realizados permitieron verificar que una oferta de productos y de procesos muy diversificada y en menores escalas complejiza desde una perspectiva técnica la tarea de adopción en varias de las tecnologías 4.0. Si bien el equipamiento de una empresa diversificada puede generar tanta información (a través de sensores y/o software) como el de una empresa especializada, en el caso de la empresa diversificada se dispone de menos información sobre cada proceso en particular (lo que puede llegar a invalidar el uso de tecnologías que requieran gran volumen de datos), pero se multiplica el número de tareas posibles, lo que complejiza el diseño y la aplicación de, por ejemplo, procesos de *machine learning* (hay que conectar entre sí equipos muy variados que operan con software diferentes, es más complicado diseñar cómo se instrumentaliza el *machine learning* o el manejo e interpretación de la información sobre tareas disímiles, etc.).

En un marco de empresas mipymes, con ciertas limitaciones en sus capacidades de absorción tecnológica, esta complejización técnica en la adopción de las nuevas tecnologías digitales debido al alto nivel de diversificación productiva, añade un nuevo factor que retarda o limita la difusión de las tecnologías propias de la Industria 4.0.

Baja sofisticación de la demanda y la propia naturaleza de la actividad productiva de la empresa

La propia naturaleza de la actividad productiva puede inviabilizar la expansión de las nuevas tecnologías digitales al interior de las empresas. Y este es un aspecto que se presenta tanto en sectores de tecnología madura (como producción de plásticos, o tratamiento de residuos), como para sectores más ciencia y conocimiento intensivos (como la producción de equipamiento médico y bienes de capital).

En sectores de baja complejidad, mejoras en digitalización tradicional pueden resultar competitivamente más ventajosas (y menos costosas), como las que se suelen incluir como propias de las fases iniciales de la 4.0, software de gestión o sistemas de automatización tradicional. En muchas actividades de este tipo, donde las mipymes han evaluado la oportunidad de incorporar nuevas tecnologías digitales (más propias de la “fase de implementación y expansión”, tales como sistemas de recopilación de datos y software de big data), éstas a menudo han sido descartadas por ser consideradas poco relevantes (caso empresa H). De hecho, probablemente este no sea una limitante propia de mipymes industriales de economías periféricas. El estudio en pymes españolas de Pérez González, *et al.* (2018) ha calificado como la más importante de las barreras a la transformación digital, sencillamente que éstas no lo consideran ni necesario ni prioritario para desempeñarse en el mercado.

Por otro lado, las nuevas tecnologías digitales por sí mismas requieren que el personal esté capacitado en su manejo; mientras que en los sectores típicamente *dominados por los proveedores* (Pavitt, 1984; Castellacci, 2008) la mano de obra suele ser de baja

calificación, muy intensivo su uso y muy frecuente en economías periféricas su “alta rotación”, que responde en gran medida a la volatilidad en que el empleo reacciona al ciclo económico. Sectores de tecnología madura, tales como textiles, productos plásticos, muebles o diversas ramas de la alimenticia, ante el achicamiento del mercado interno, responden reduciendo su nivel de ocupación, o bien precarizando las condiciones laborales y del empleo, lo que extiende las condiciones de informalidad en el sector. Esto deprecia velozmente el valor de las capacitaciones, si se ha de incorporar alguna mejora 4.0, como ha sido el caso por ejemplo de la incorporación de sistemas de gestión de activos en tiempo real en el sector del plástico (empresa M).

Con todo, son éstos los sectores más sujetos a que se extienda la compra de un paquete de tecnología incorporada completo, debido a la difusión que hacen los proveedores de maquinaria (especialmente extranjera), por ejemplo en la industria alimenticia (empresas C, E y G). Es posible también, en ese sentido, que la incorporación de maquinaria que posea sensorización incorporada o algunas funciones de robótica avanzada se de manera compulsiva desde los proveedores de maquinaria, cuando las mipymes intenten expandir su planta o meramente reemplazar equipamiento depreciado, y las soluciones de automatización tradicional no sean ya ofrecidas. En ocasiones es el proveedor quien obliga a evolucionar, pues deja de fabricar equipos “antiguos”.

La naturaleza de la actividad productiva también opera en alguna medida retardatariamente en algunos segmentos de mayor complejidad, tales como los de bienes de capital o de equipamiento médico, que mantienen una fuerte base de competitividad en trabajo manual especializado. En la producción de equipamiento (bienes de capital) para la industria alimenticia se realizan productos a medida y no es conveniente automatizar toda la planta porque no todos los productos o procesos son iguales. Aunque algunos procesos incluyen máquinas automatizadas, la línea de ensamble no justifica la automatización (caso empresa G). Así también en la fabricación de matrices y dispositivos, la pertinencia de implementar robótica avanzada o profundizar en la digitalización del proceso no resulta conveniente.

También algunos tipos de aplicaciones de realidad virtual para capacitación sólo cobran valor (respecto a capacitaciones tradicionales) cuando se establecen en actividades que tienen un alta potencial de riesgo para el trabajador, que justifiquen una capacitación avanzada en materia de seguridad permitiendo la simulación de situaciones peligrosas.

Asimismo, desde la perspectiva de los proveedores de nuevas tecnologías digitales, la sofisticación de la demanda de tecnología del cliente es un limitante fuerte en el caso de mipymes. En otras ocasiones esta baja sofisticación se deriva de la propia naturaleza productiva-tecnológica de la actividad en la que la Pyme se desenvuelve.

La oferta local de nuevas tecnologías digitales es diversa y relativamente amplia. El trabajo de campo en el segmento de proveedores ha permitido identificar que, principalmente, éstos cuentan con dos tipos de demanda: i) un segmento proveniente del sector productivo, conformado por el mercado externo, grandes empresas industriales nacionales y subsidiarias extranjeras, firmas de servicios y potencialmente algunas actividades agrícolas; y ii) un segmento proveniente de la sociedad, donde ingresan los Estados (Municipales, Provinciales) como demandante de mejoras de diverso tipo, las actividades de salud y educación, y las artes.

Muchas grandes empresas traccionan su demanda, donde además sus implementaciones tienden a ser mucho más integrales, estar en estadios más avanzados del “tránsito” hacia la industria 4.0; de lo que ha podido ser identificado en mipymes industriales del centro de la Argentina. De este modo, las mipymes industriales no parecen ser una fuente importante de las ventas de los oferentes locales de nuevas tecnologías digitales.

Por el contrario, en las entrevistas efectuadas no fueron señalados dentro de las opciones dadas como obstáculos significativos para la introducción de las nuevas tecnologías digitales, los siguientes: i) falta de madurez de las tecnologías; ii) escasa disponibilidad de personal calificado en el mercado laboral; iii) inadecuados sistemas de formación laboral y capacitación para los nuevos requerimientos.

Los obstáculos a la adopción de tecnologías 4.0 identificados en este estudio coinciden en alguna medida con otros tanto de tipo académico como de empresas consultoras. Sin embargo, estos estudios tienden centrarse en las barreras a futuro y no profundizan en el proceso efectivo de adopción tecnológica en las empresas.

Así por ejemplo, una encuesta realizada por el Boston Consulting Group en Argentina a 66 empresas industriales, con un gran predominio de grandes firmas¹⁵, señaló como los tres principales obstáculos *percibidos* por las empresas la falta de personal capacitado (competencias internas), la incertidumbre sobre el impacto de las inversiones en el beneficio operativo de la empresa y a la resistencia al cambio (BCG, 2018). Le siguen la falta de una infraestructura de conectividad suficiente, la falta de perspectiva de un modelo de negocio claro y la falta de opciones de financiamiento. Sin embargo en estas percepciones de obstáculos no se distinguen empresas que realmente se hayan involucrados en nuevas tecnologías digitales, de las que no.

Dos relevamientos realizados en países europeos en pymes señalan una escasa valoración de la importancia de las nuevas tecnologías digitales para su negocio. Una encuesta realizada a 1000 empresas en 2014 en Alemania señalaba que para más de la mitad de las pymes las tecnologías digitales no tenían un rol importante en su negocio (European Parliament, 2016). Pérez González, *et al.* (2018) hallan un resultado similar en España, ya en pymes industriales, la más importante barrera al avance de la incorporación de nuevas tecnologías digitales es que este tipo de firmas lo considera prioritario o necesario en su actividad competitiva y productiva, seguido de la relación costo-beneficio de las inversiones necesarias. La calificación del personal aparece como el tercer obstáculo en importancia. Otros estudios que no se focalizan en pymes (Roland Berger, 2016) (ni en empresas industriales) señalan como el obstáculo más importante a la transformación digital a la resistencia interna al cambio y, en segundo lugar, a la falta de competencias.

El estudio reciente de INTAL-BID, CIPPEC y UIA señala una importancia diferencial de los obstáculos según los tipos de empresa en su generación tecnológica para el caso de Argentina (Albrieu, *et al.*, 2019). Para el pequeño grupo que ha incorporado nuevas tecnologías digitales en alguna área funcional (lo que es comparable a nuestro estudio), los dos principales obstáculos identificados son dos aspectos externos: las falencias de la infraestructura de conectividad y deficiencias en los marcos regulatorios. El grupo de firmas que cuentan con un nivel tecnológico de “tercera generación” pero que no han realizado incorporaciones de tecnologías 4.0 percibe como principales obstáculos al acceso al financiamiento y seguidamente la disponibilidad de recursos humanos. Limitantes como la cultura de la empresa y el desconocimiento de la tecnología son las principales barreras percibidas por las empresas industriales con niveles tecnológicos de primera y segunda generación, que son casi la mitad de esa muestra.

Con todo, la mayor parte de estas encuestas se centran en relevar las percepciones a futuro de cuáles pueden ser las barreras a la adopción, en la opinión de empresas que no necesariamente han implementado, intentado implementar, o están en proceso de implementación de nuevas tecnologías digitales. Esto es, no se centran en las barreras realmente existentes por los adoptantes reales (aunque ciertas previsiones pudieran coincidir), ni se centran en los obstáculos sorteados, ni en la forma en que han sido afrontados. Nuestro trabajo de campo se basa en casos que involucra la sistematización

¹⁵ Apenas el 13% de la muestra contaba con menos de 100 ocupados, mientras que más de la mitad contaban con plantas de más de 500 trabajadores.

de los obstáculos afrontados por mipymes que concretamente se han enfrentado al desafío de adoptar estas tecnologías. Las dificultades en los procesos de incorporación de tecnologías aparecen en la práctica y en la propia experiencia, y muchas de éstas no pueden identificarse (o cualificarse) por el propio implementador *de ante mano* en una transformación que es totalmente nueva o inédita en su historia.

Asimismo, nuestro trabajo de campo permite adentrarnos en las maneras en que los casos estudiados han intentado sortear estos obstáculos, o los factores que han obrado en ellos para mitigarlos y posibilitar sus procesos de adopción. En ese sentido, el trabajo cualitativo ofrece nuevas lecciones, insumo para la reflexión en el diseño de políticas, que se presentan en las subsecciones siguientes.

B. Elementos que han permitido a algunas mipymes sortear obstáculos a la introducción de tecnologías 4.0

En la sub sección anterior se han identificado una serie de obstáculos para las mipymes en el proceso de adopción de nuevas tecnologías digitales. Una novedad de nuestra investigación es que se adentra en los factores que han posibilitado mitigar algunas de estas limitaciones, así como las maneras en que los adoptantes de estas nuevas tecnologías digitales han intentado sortear los obstáculos.

En ocasiones los obstáculos fueron superados, en otras han sido parcialmente mitigados, y las barreras siguen operando. El cuadro 4 sintetiza las distintas barreras que han afrontado los casos en particular de mipymes estudiadas en sus proyectos de incorporación de nuevas tecnologías digitales, tanto si los han logrado superar como si continúan operando como obstáculos y limitantes en la difusión y uso de tecnologías de las que componen el concepto de Industria 4.0. En este apartado nos focalizaremos en las formas en que las mipymes han afrontado sus dificultades y los factores que han colaborado en abordarlas eficazmente.

Uno de los principales resultados del estudio es que los proveedores de estas tecnologías aparecen como un factor crucial para sortear una parte sustancial de los obstáculos y limitaciones para su adopción. Ello independientemente de que, como se señaló en la sección anterior, en algunas áreas puedan identificarse algunas falencias en la oferta.

La labor de los proveedores tiende a paliar la mayor parte de las limitaciones propias del desconocimiento de las nuevas tecnologías y su integración a las distintas áreas de la empresa y su potencial, especialmente las que se ofrecen de modo incorporado en la maquinaria. Cuando las empresas concertan una provisión de estas tecnologías, en muchas de las ocasiones los proveedores brindan apoyo para la obtención de financiamiento, tanto ofreciendo garantías y buscando condiciones crediticias favorables, como facilitando esquemas de pago adecuados para que el negocio se concrete. Son ellos quienes brindan toda la capacitación necesaria para comprender la operatoria de la maquinaria, realizar los ajustes y completar los procesos de instalación. Por lo general están disponibles a modo de soporte luego de la implementación por largo tiempo, colaboran en el mantenimiento y ofrecen capacitación a nuevo personal que comienza a usar la nueva maquinaria. Estos aspectos son especialmente relevantes en las nuevas tecnologías digitales más “duras”, como maquinaria con robótica avanzada, sensores e IoT o software de IA de manera incorporada.

Además, en términos generales, la disponibilidad de proveedores de nuevas tecnologías digitales, de todo tipo, no aparece como un obstáculo para su adopción, especialmente cuando se trata de una solución completa. La oferta local de nuevas tecnologías digitales

es diversa y relativamente amplia, donde hay dominancia de proveedores extranjeros en inversiones de mayor entidad y tecnologías más duras, y un amplio abanico de proveedores locales en las mejoras más relacionadas a sistemas y software¹⁶.

Cuadro 4
Obstáculos sorteados y operando caso por caso

Empresa	Localización	Tipo de proyecto	Obstáculos		Modo en que han sido sorteados los obstáculos
			Operando	Sorteados	
Empresa A	Córdoba (capital)	Internet de las Cosas y sensores. Big Data. Computación en la nube.	Financiamiento. Costo de Licencias de software.	Conectividad. Conocimiento de la tecnología. Simultaneidad de proyectos. Disponibilidad de proveedores que ofrezcan solo el upgrading del equipo que disponen. Carga de documentación	Inversión propia en infraestructura de conectividad. Asistencia a Ferias de proveedores. Foco en finalización de proyectos más avanzados.
Empresa B	Córdoba (Alta Gracia)	Internet de las Cosas y sensores	x Escasez de tiempo y de recursos económicos en un contexto macro adverso		El grado de avance está en haber dedicado recursos internos al desarrollo
Empresa C	Córdoba (capital)	Robótica avanzada	Escasez de tiempo y de recursos económicos en un contexto macro adverso, para implementar un aprovechamiento complementario	Tamaño de la inversión. Conocimiento de la tecnología	Apoyo de los proveedores para obtener créditos, financiamiento interno a la empresa. Apoyo de proveedores en la operatoria de la tecnología
Empresa D	Córdoba (capital)	Inteligencia Artificial	Inestabilidad macroeconómica	Tamaño de la inversión. Financiamiento. Operatoria de la maquinaria.	Apoyo de los proveedores para obtener créditos, financiamiento interno a la empresa. Apoyo de proveedores en la operatoria de la tecnología
Empresa E	Córdoba (James Craik)	Robótica avanzada	Disponibilidad y calificación de la mano de obra (para avanzar a etapas posteriores).	Calificación de la mano de obra. Competencias Informáticas. Conocimiento de la tecnología.	Avanzaron en el proceso hasta su nivel de calificación del personal. Externalizaron las tareas de sistemas informáticos. Apoyo de proveedores en la operatoria de la tecnología
Empresa F	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Tamaño de la inversión	Resistencia del personal. Conectividad.	Capacitación del personal y demostración del funcionamiento en la práctica. Inversión en extender la cobertura del wifi a toda la planta. Comenzaron con inversiones bajas, en el área de software
Empresa G	Santa Fe (Rafaela)	Computación en la nube.	La propia naturaleza de la actividad productiva. Inestabilidad macroeconómica. Tamaño de la inversión. Financiación.		
Empresa H	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Conectividad. Naturaleza de la propia actividad productiva.		No han sido sorteados los obstáculos
Empresa I	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Tamaño de la inversión. Financiamiento.	Tamaño de la inversión	Comenzaron con inversiones bajas, en el área de software
Empresa J	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas. Inteligencia Artificial. Robótica Avanzada. Big Data	Financiamiento. Tamaño de la inversión.	Financiamiento. Tamaño de la inversión.	Facilitación de formas de pago de los proveedores de tecnologías. Combinación de fuentes de financiamiento: parte de un crédito de la Provincia, crédito de banca privada y recursos internos.
Empresa K	Santa Fe (Rosario)	Internet de las Cosas y sensores	Inestabilidad macroeconómica. Financiamiento	Infraestructura física	
Empresa L	Córdoba (capital)	Computación en la nube. Inteligencia Artificial.		Digitalización de la documentación necesaria para el sistema. Inercia organizacional.	Dedicación de tiempo de trabajo y del proveedor a la carga de documentación. Muestra del sistema en uso.
Empresa M	Córdoba (capital)	Computación en la nube. Inteligencia Artificial.	Necesidad constante de capacitación, debido a la alta rotación del mismo	Falta de tiempo laboral para carga administrativa de tareas. Resistencia del personal. Conectividad.	Inversión propia en infraestructura de conectividad.
Empresa N	Córdoba (capital)	Impresión aditiva / 3d	Naturaleza de la propia actividad productiva de la empresa	Resistencia e inercia organizativa. Calidad, demora y profesionalización de los proveedores locales de impresión 3d. Conocimiento de la tecnología.	Demostración de funcionamiento en la práctica y capacitación al personal. Tercerización de la actividad a Buenos Aires y al exterior. Participación en actividades de difusión de la tecnología de Universidades.
Empresa O	Santa Fe (Rafaela)	Internet de las Cosas y sensores	Demora del proveedor de software de gestión de datos.	Tamaño de la inversión. Financiamiento.	Crédito provincial subsidiado.

Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ Donde parece haber una mayor variabilidad en el grado de profesionalización de la oferta es en la provisión de servicios de impresión aditiva, donde se verifican heterogéneos grados de calidad y velocidad de respuesta a la demanda del empresariado industrial; lo que pone en consideración de la provisión a través de empresas del extranjero.

Sin embargo, los proveedores no han sido la única forma de afrontar muchas de las limitaciones. Tanto factores externos, como iniciativas internas de las empresas, han permitido afrontar las dificultades que han ido apareciendo.

Ante la falta de conocimiento de la tecnología, además de los proveedores en sí, una fuente importante de información son las Ferias. La mayor parte de los casos estudiados ha entrado en conocimiento de este tipo de mejoras, especialmente aquella de tipo embebido en robótica, a través de la participación en ferias de proveedores, pero también del propio entorno de negocios y espacios asociativos empresariales (empresas A, D y N). Asimismo, la participación en eventos de difusión de las Universidades, oficinas de diseño y de Institutos tecnológicos (como el INTI), han dado un puntapié inicial a entrar en contacto con la tecnología (empresa N). En cambio, no aparecen factores o instrumentos importantes capaces de suplir la falta de conocimiento sobre el impacto en los beneficios económicos de este tipo de mejoras, lo que parece natural, dado que este impacto verdaderamente es incierto.

La inercia en los hábitos organizacionales y la resistencia al cambio en el personal y la gerencia ha resultado un obstáculo común en los casos estudiados, lo que tiende a ser común en los procesos de innovación en general, especialmente cuando ésta no es generada internamente como parte de los procesos rutinarios de los miembros de la organización. Respecto a la introducción de este tipo de cambios de la industria 4.0 este factor aparece con fuerza alentado por el elevado grado de incertidumbre alrededor de cuáles serán sus implicancias en el día a día laboral. La mayor parte de los casos estudiados han sorteado este problema apelando a un conjunto de factores: la capacitación, el efecto demostración y mediante la imposición.

La capacitación en las características de la tecnología y las mejoras que ésta implicaba fue una de las formas más importantes de persuadir al personal para avanzar en la implementación (empresa F). En ocasiones la resistencia ha aparecido cuando la mejora implica tercerizar lo que es una etapa de importancia neurálgica para su desenvolvimiento competitivo de la empresa (empresa N); lo que se afrontó con capacitaciones y en la práctica. En varios de los casos las tareas de capacitación fueron respaldadas por la demostración en la práctica del funcionamiento de la operatoria de los nuevos sistemas y equipos. En estas empresas se impuso el cambio, y a *posteriori* se mostraron los beneficios de su uso, la manera en que se soluciona el problema original, la forma en que mejora algunas condiciones de trabajo, etc. (empresas A, F y L). Sin embargo, esto no borra necesariamente la resistencia del personal, especialmente cuando la mejora implica la creación de nuevas tareas (p.e. la carga digital de información) por el mismo salario y puesto. Ha habido casos donde este problema se ha solucionado a través de una compensación monetaria por las nuevas tareas de digitalización (el computo de horas de trabajo por las nuevas tareas) (empresa M).

Las dificultades de acceso al financiamiento y el tamaño de las inversiones necesarias, máxime en un contexto de achicamiento del mercado interno, ha sido uno de los limitantes más frecuentes identificados en los casos. Las mipymes estudiadas han podido avanzar de distintas maneras, más allá del apoyo que en ocasiones han recibido de los propios vendedores del equipo. Una alternativa ha sido el uso de tiempo laboral propio al desarrollo interno o implementación de la mejora, muchas veces avanzando en el tiempo de trabajo "sobrante" de las tareas rutinarias (empresas A y B). Otra manera ha sido una estrategia de avanzar en los pasos que involucran menores inversiones, como son las incorporaciones de software o de incorporar sensores a las máquinas (empresa I); esperando contar con algún apoyo en el futuro (p.e. aportes no

reembolsables) que posibilite completar el proceso, o que la situación económica de la empresa mejore (empresa A)¹⁷.

La dedicación de financiamiento interno ha sido la principal salida (empresas A, F, K y J), aunque en varios casos la combinación de fuentes de financiamiento ha permitido algunas de las inversiones, incluyendo el acceso a créditos de la banca provincial a tasa subsidiada (empresas J y O), en la banca privada local (empresas D y J) y créditos en el extranjero (empresas C y D). Los créditos en moneda nacional han servido como protección ante la inestabilidad cambiaria (empresa J), aunque ésta ha seguido afectando negativamente a los costos de los equipos extranjeros (empresa D).

Ante las falencias en competencias digitales, las mipymes estudiadas han realizado algunas acciones para abordar sus limitaciones en competencias informáticas previas derivadas de la ausencia de un área de informática en la estructura organizacional; pero no ha habido acciones o factores que posibiliten sortear las dificultades para la profundización de la trayectoria digital hacia la explotación de grandes datos, la analítica predictiva o inteligencia artificial aplicada a la manufactura. Una manera de sortear las falencias en competencias informáticas iniciales ha sido la externalización de las tareas de sistemas informáticos (empresa E). Otra de las soluciones ha sido la dedicación de tiempo de trabajo del personal operativo, de mantenimiento y del propio proveedor de la solución a tareas de digitalización de documentación (empresa L).

A veces las zonas fabriles no cuentan con la conectividad necesaria. En todas las ocasiones donde la infraestructura en conectividad aparece como una limitación las empresas han realizado alguna inversión propia en infraestructura. Sea en instalar internet por fibra óptica para contar con una calidad estable (empresa A) o la ampliación en la cobertura del wifi a toda la planta (empresa F), o reemplazar la conectividad inalámbrica por cableada (empresa M). En algunos casos no ha podido ser sorteada esta dificultad (empresa H), puesto que parte de los equipos se localizan en zonas alejadas directamente sin acceso, o muy pobre acceso, siquiera a redes de telefonía celular.

Cuando aparecen insuficiencias en la oferta local de tecnologías 4.0, la salida más común ha sido la búsqueda de nuevos proveedores en el exterior, o la tercerización de la actividad a otros centros urbanos nacionales de mayor dimensión y extranjeros.

C. Recomendaciones de política

Hay un importante cuerpo de literatura que analiza el rol de las barreras u obstáculos para que las empresas introduzcan cambios en su organización, modifiquen la manera de hacer las cosas, de que innoven (Baldwin y Lin, 2002, D'Este *et al.*, 2012, Galia y Legros, 2004, Iammarino *et al.*, 2009, Mohnen y Röller, 2005)¹⁸. Una forma de concebir a las políticas microeconómicas de innovación que forman parte de los instrumentos de la política industrial es que éstas constituyen herramientas que potencialmente pueden neutralizar o al menos mitigar y disminuir los efectos restrictivos que tienen una diversidad de obstáculos a la realización de la capacidad innovativa de las empresas (Motta *et al.*, 2013)¹⁹. Por tanto, la identificación de algunos obstáculos a la introducción de nuevas tecnologías digitales en mipymes que hemos presentado, permite reflexionar sobre posibles instrumentos de política pública para paliarlos.

¹⁷ La interrupción de programas públicos nacionales de apoyo a la innovación y/o a la modernización tecnológica (p.e. el Programa de Acceso a la Competitividad) ha impactado negativamente sobre algunas de estas iniciativas, abortadas y congeladas hasta el momento de poder continuarse con nuevo financiamiento.

¹⁸ Una revisión y sistematización de la literatura acerca de barreras a la innovación puede ser consultada en Madrid-Guijarro *et al.* (2009).

¹⁹ Éstos obstáculos pueden también retroalimentarse entre sí, por lo cual puede ser necesario contar con políticas que simultáneamente los aborden (Motta, *et al.*, 2013).

Primeramente, cabe realizar la salvedad de que todo diseño de política debe presentar una coherencia creíble entre objetivos, instrumentos y la dedicación de recursos, con metas cuantitativas progresivas verificables y relevantes.

Entre los obstáculos a la incorporación de tecnologías Industria 4.0 hay algunos que son internos y otros que son externos a las empresas. Las recomendaciones de política pública que se presentan a continuación están pensadas en ayudar a sortear dichos obstáculos. En particular, la política industrial se debería orientar a:

- Mejorar las competencias de las empresas, especialmente a nivel gerencial y en el área de sistemas, incentivando la incorporación de RRHH calificados y la capacitación de personal de la empresa. Especialmente es preciso fortalecer:
 - las competencias digitales e informáticas. La incorporación de tecnologías 4.0 habitualmente requiere que la empresa posea un área de sistemas o, al menos, personal con adecuados conocimientos de informática.
 - las competencias gerenciales. Específicamente, el desempeño operativo de las empresas dependerá crecientemente de la capacidad empresarial para adaptarse rápidamente a los continuos cambios implícitos en una dinámica productiva 4.0.
 - Programas de reconversión de modelos de negocios para mipymes 4.0. Una de las limitaciones observadas en la aplicación de las nuevas tecnologías que impide el pleno aprovechamiento de sus potencialidades, reside en que las empresas ven a dicha incorporación exclusivamente como un proceso de modernización del equipamiento, pero para seguir produciendo los mismos o similares bienes para sus mercados tradicionales. Ello es una parte de la explicación de por qué es frecuente que los beneficios que resultan parecen no compensar el costo de la inversión. Sin embargo, en muchos casos lo relevante de incorporar tecnologías 4.0 es cómo reconvierte y enriquece el modelo de negocio de las empresas. Por ejemplo, el incorporar IoT en productos finales o en el propio proceso productivo de una empresa manufacturera, le puede permitir diversificar sus actividades, ampliándolas hacia servicios de posventa, mantenimiento y hasta retroalimentar las actividades de diseño e innovación en productos a introducir. En estos casos, el modelo de negocios de la firma industrial necesariamente cambiaría: hay una nueva manera de crear valor, donde la capacidad de recopilar y explotar datos para ofrecer soluciones a los clientes se convierte en un hilo esencial de las nuevas estrategias industriales.

Sin lugar a dudas que la responsabilidad primaria por el fortalecimiento de las mencionadas competencias es de las propias empresas. Ellas son las que deben hacer los mayores esfuerzos para adquirir aquellas competencias y capacidades que les permitan actuar satisfactoriamente en los mercados. Las cámaras y otros tipos de agrupamientos empresariales también deben colaborar en este sentido.

Pero, desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto puede no ser eficiente depositar la responsabilidad exclusivamente en el sector empresarial pues: i) la mejora en las competencias de las mipymes y su adecuación a la nueva realidad de la Industria 4.0 es una especie de condición de base, necesaria aunque no suficiente, que si no se cumple obstaculizará fuertemente la amplia adopción de estas nuevas tecnologías, independientemente de sus atributos técnicos y económicos; ii) las señales de mercado, por si solas, tienden a ser insuficientes e insatisfactorias para promover estos cambios.

En consecuencia, es conveniente que la política pública acompañe e incentive el accionar empresarial en estas temáticas. Las formas de intervención posibles van desde acciones de concientización direccionadas al sector empresarial hasta la implementación

de medidas de apoyo directo, tales como financiar programas específicos de capacitación, subsidiar (temporalmente) la incorporación de informáticos a la empresa, etc.

- **Mejorar el conocimiento de las potencialidades de las nuevas tecnologías.** Una fuente importantísima —mencionada por las empresas adoptantes identificadas en este estudio— de difusión de las características técnicas de las nuevas tecnologías, de su disponibilidad efectiva o no, de su potencial productivo y, en algunos casos, de posibles vías de financiamiento, la constituyen los proveedores de sistemas, máquinas y equipos, más allá que el interés principal de éstos pueda ser vender “su” producto o solución. Otras fuentes identificadas, aunque aparecen con menor frecuencia en los relatos empresariales, han sido la asistencia a ferias y la consulta a colegas que ya han introducido soluciones 4.0. Pero especialmente, en las entrevistas a proveedores de estas tecnologías se ha señalado con insistencia el amplio desconocimiento que muchas de las mipymes tiene sobre las características y el potencial de las nuevas tecnologías digitales. De ahí que se presenta como necesario, para estimular su adopción, el introducir medidas de política que favorezcan una amplia difusión de sus potencialidades, lo que podría ser logrado a través de campañas de difusión sobre el tema, formación de un pool de expertos para ayudar informar a las mipymes en estos temas, etc.
- **Reducir el costo de las inversiones y brindar financiamiento en distintas etapas de los proyectos de inversión.** La mayor parte de los casos reseñados no implicaron inversiones monetarias demasiado onerosas. Sólo 6 de las 15 empresas estudiadas realizaron inversiones de mayor consideración. En medida importante las inversiones en tecnología 4.0 se limitaron a aplicaciones parciales de internet de las cosas e incorporación de sensores a la maquinaria existente. Esta reducida penetración de las tecnologías digitales al interior de las fábricas está explicada —además de por otros factores ya señalados con anterioridad— por la escasa capacidad de financiamiento de las empresas.

Además, mirando hacia el futuro, más de la mitad de las empresas analizadas considera que los problemas de acceso al financiamiento son un obstáculo para continuar profundizando sus procesos de adopción de tecnologías digitales. Este aspecto gana especial importancia cuando se tiene en cuenta que el transitar hacia fases más avanzadas de 4.0 requiere de inversiones muy importantes²⁰.

En este marco, difícilmente se logren difundir las tecnologías 4.0 entre las mipymes argentinas a un ritmo que acompañe la experiencia internacional sin el apoyo del Estado, el que se podría materializar a través del otorgamiento de subsidios directos a la inversión o a través de la tasa de interés, facilitando la obtención de garantías, estableciendo cambios regulatorios en los sistemas de depreciación del capital, etc. Las ayudas a la inversión no debieran limitarse a la adquisición de maquinaria, sino que también se deberían contemplar los gastos en construcciones y en ciertas actividades al interior de las empresas, tales como la digitalización inicial de documentación técnica y de gestión de trabajo. Estas ayudas deberían priorizar proyectos que en los que participen en un grado importante proveedores locales y con modelos de negocios readecuados en función de las nuevas tecnologías incorporadas.

- **Superar deficiencias en el nivel de conectividad.** La existencia de un adecuado nivel de conectividad es también una condición de base para la difusión de las tecnologías digitales. En la actualidad, esta condición no se cumple en muchos

²⁰ Podemos ejemplificar con lo que han sido las inversiones de grandes empresas, incluso la que ha realizado la empresa C (afectando a sólo un área de la empresa), pero también con medidas de apoyo en economías desarrolladas, como el caso del decreto ministerial de 5 de marzo de 2018, del Ministerio de Desarrollo Económico de Italia que contempla ayudas de hasta 40 millones de euros para proyectos de investigación industrial y desarrollo experimental orientados hacia la “Fabbrica intelligente”.

casos, especialmente cuando las empresas están ubicadas en la periferia de las ciudades. La solución a este problema generalmente puede darse a nivel de empresa o a través de inversiones y mejoras de las redes públicas. En el caso de la economía argentina parece más factible proponer medidas de política pública orientadas a obtener soluciones a nivel de las empresas que a propiciar grandes inversiones que mejoren la conectividad 4G, ultrawideband (UWB), etc.

- Ayudas para infraestructura interna en conectividad. En este caso, las inversiones necesarias son variables, dependiendo de la localización y del tamaño de la planta productiva. Puede involucrar comprar algún hardware, y/o pagar un servicio de banda ancha periódicamente.
- Apoyar acciones colectivas y colaborativas de uso común de maquinarias. Hay tipos de equipos que brindan un servicio 4.0 que no son asequibles —por el elevado costo y la alta capacidad de producción de dichos equipos— para empresas de pequeño tamaño. En consecuencia, una vía para que dichas empresas puedan aplicar dichas tecnologías en sus procesos productivos es a través de acciones colaborativas de uso común de maquinarias. A modo de ejemplo, pues el campo de acción es muy amplio, a continuación se presentan dos propuestas en ese sentido:
 - Centros de capacitación de personal con realidad virtual. La cantidad de personal que ocupan las mipymes no justifica inversión en equipo para capacitación con realidad virtual. Una política podría ser crear este tipo de centros que provean capacitación en base a un software genérico, y a los que las mipymes puedan acceder pagando solo el costo marginal (de adaptación del software) o el costo medio.
 - Centros de fabricación digital e impresión 3d. Si bien ya existen algunas experiencias en este sentido (como la de la CIMCC en Córdoba), es conveniente replicarlas en otras localizaciones y ampliar su acceso, mejorándolas en base a la experiencia ya acumulada.
- **Mejorar las interacciones entre la oferta y demanda de nuevas tecnologías digitales.** Existen ciertos desfasajes entre lo que los proveedores ofrecen y las mipymes necesitan, que ameritan una intervención pública. Algunas deficiencias en la oferta ocurren porque la demanda es insuficiente (p.e. para acumular diversidad de insumos para impresión digital) o de poca complejidad. Otras deficiencias existen porque lo que requieren las mipymes, p.e. digitalización e interconexión de equipos ya instalados, no es ofrecido, sino que solo están disponibles soluciones “completas” o “más integrales” que vienen incorporadas en nuevos equipos de capital. Se torna necesaria una intervención simultánea de ambos lados (la oferta y la demanda) de lo que parece ser un problema circular (“el huevo o la gallina”). En particular es conveniente:
 - Fortalecer la demanda de nuevas tecnologías digitales. En algunas tecnologías, particularmente en el caso de la impresión aditiva, la reducida demanda, en cantidad y complejidad, impacta sobre el contenido de la oferta nacional. Y ello desestimula aún más la demanda. A este respecto, es imprescindible estimular la demanda. Un mecanismo de política pública para ello es que en las compras públicas favorezcan a los proveedores locales de estas tecnologías.
 - Estimular el desarrollo de proveedores que incorporen tecnologías digitales en el equipo existente. En muchos casos, la incorporación de tecnologías digitales implica el reemplazo de la maquinaria existente por equipamiento moderno que trae incorporada dichas tecnologías. Ello requiere montos de inversión que son prohibitivos para muchas empresas. La difusión de las

tecnologías 4.0 lograría un importante impulso en el universo de las mipymes de existir una oferta de servicios de actualización de la maquinaria “3.0” ya disponible en dichas empresas. Esto es, proveedores capaces de incorporar los sensores, hacer la conectividad de las máquinas con los sistemas previos de la empresa, e incorporar algún sistema de data mining y generación instantánea de indicadores y reportes.

- **Otras medidas horizontales de apoyo, que trascienden la política industrial.** El éxito de la política industrial en inducir la adopción de tecnologías digitales entre las mipymes requiere que los objetivos e instrumentos de dicha política hayan sido correctamente formulados e implementados, y que los recursos asignados sean adecuados para tales fines. Pero todos estos son factores necesarios, aunque no suficientes, para asegurar la difusión de las nuevas tecnologías. Las conductas empresariales también están fuertemente influenciados por el contexto macroeconómico. Situaciones de crecimiento económico y estabilidad de expectativas seguramente favorecen la difusión. Pero además hay otras condiciones “ambientales” que se deben tener en cuenta para lograr un efecto favorable de la política industrial. Dos se destacan en el caso de nuevas tecnologías digitales:
 - Mantener la política de formación de RRHH calificados, especialmente a nivel universitario de grado y posgrado. En la difusión de estas tecnologías, la calificación de los RRHH, vista tanto por el lado de los proveedores de tecnología como por el lado de los demandantes, tiene un papel fundamental.
 - Abordaje, consideración y prevención de potenciales efectos sociales negativos de las tecnologías 4.0. Para evitar que la difusión de las tecnologías 4.0 pierdan legitimidad social, parece necesario complementar las medidas de apoyo a su difusión con otras que compensen o al menos mitiguen posibles efectos negativos del uso de estas tecnologías en las etapas iniciales de su difusión, especialmente sobre el nivel de empleo y la calidad del mismo, de forma de evitar crear una imagen negativa del uso de estas tecnologías. El rechazo social a ciertas tecnologías puede bloquear, al menos por cierto período, la difusión de las mismas. Hay que monitorear el impacto sobre la heterogeneidad productiva y social que la difusión de estas tecnologías puede llegar a tener. Y, en caso de ocurrir nuevas desigualdades hay que desplegar una serie de medidas para controlar tal fenómeno.

Gran parte de estas propuestas representan diferentes vías de transferencia de recursos públicos hacia las empresas, vía subsidios, reducción de impuestos o mayores gastos del estado. El aumento del gasto público a través de la política industrial es difícil de lograr en una economía periférica, con historial de déficits fiscales crónicos, como la Argentina.

Pero el paso a la industria 4.0 de las empresas pequeñas y medianas no se dará naturalmente o inducido por las señales que brinda el sistema de precios, al menos al ritmo necesario o con cierta autonomía. Por el contrario, si se pretende lograr un nivel de adopción no muy alejado de los parámetros internacionales es necesaria cierta “inducción” estimulada por la política pública. Especialmente dados los problemas de financiamiento y de acceso a los mercados de capitales locales o internacionales de las mipymes argentinas.

Hay que tener en cuenta que se compite, tanto en el mercado nacional como en mercados externos, con empresas extranjeras que crecientemente están adoptando las nuevas tecnologías, en parte ayudadas por sus gobiernos y gozando de condiciones macroeconómicas más favorables que sus pares argentinas.

La medida en que la introducción de las nuevas tecnologías digitales en la actividad manufacturera constituirá o no, una verdadera revolución cualitativa y “disruptiva” en la industria es aún una cuestión abierta e incierta.

Probablemente el relato con el que abrimos el documento caracterizando a la ciber fábrica cuenta sólo una parcialidad de la historia. Quizá no sean “vehículos autónomos” que por su cuenta realicen toda la logística de aprovisionamiento de insumos y de entrega de productos, sino que sea el propio personal, con una tablet en mano quien reciba un recorrido optimizado por la planta para hacer todo el *picking*. Quizá no sean los propios equipos y productos quienes tomen decisiones autónomas de producción comunicándose entre sí, sino que algunas de estas maquinarias tengan funciones que aprendan progresivamente de los datos de producción con software de inteligencia artificial, sugiriendo perfeccionamientos en los controles de calidad o previniendo fallas.

Muchas de estas mejoras, parcialmente, se dan en varias mipymes industriales de la Argentina. Estas empresas tienen ciertas características comunes: en promedio no son jóvenes y tienden más bien a ser medianas, cuentan con recursos internos para invertir y poseen cierta trayectoria en competencias digitales básicas. Se trata de un conjunto poco numeroso, pero está ahí. Existe. No se adecua, es cierto, al ideal de industria 4.0 como una aplicación integral de las nuevas tecnologías digitales, no son “ciber fábricas”. No hay razones, sin embargo, por la que estas estrategias de adopción tecnológica de las mipymes industriales argentinas sean necesariamente inadecuadas.

Por un lado hay, por el contrario, diversos “gradientes” de adopción de las tecnologías 4.0, que responden en parte a las específicas necesidades estratégicas de competencia de cada empresa (en la mayoría de los casos estudiados la resolución de algún problema), y en otra parte a que determinados obstáculos limitan una mayor profundización de la digitalización. La adopción de tecnologías 4.0 no es necesariamente una alternativa binaria. Por el contrario, en la totalidad de los casos analizados en este estudio se verifica una adopción parcial de estas nuevas tecnologías. Adopción parcial en el sentido que se las aplica “limitadamente” en las empresas. Por lo general se aplican sólo en una o pocas áreas o procesos. Quizá esta sea “la Industria 4.0 de la mipyme industrial argentina”: algunas de las nuevas tecnologías digitales implementadas dispersamente a lo largo de la organización allí donde son requeridas, donde cubren un problema, donde mejoran una tarea puntual necesaria para competir. Pero es posible que tampoco sea una particularidad de las mipymes: el estudio de INTAL-BID, CIPPEC y UIA señala que ninguna empresa industrial de su muestra ha adoptado nuevas tecnologías digitales en más de 3 áreas funcionales (Albrieu, *et al.*, 2019). Hay, por tanto, varios indicios para soslayar el carácter integral del ideal de industria 4.0.

Por otro lado, mientras que entre algunos de los beneficios con los que se promueve el ideal de industria 4.0 está la posibilidad de fabricar múltiples tipos de componentes de una sola línea de producción en lotes pequeños, hay que destacar que muchas mipymes argentinas sobrevivientes a las políticas neoliberales han logrado el mismo resultado (producir en lotes pequeños, diversidad de productos, en la misma línea) realizando adaptaciones “atadas con alambre”²¹ a maquinaria extranjera para satisfacer

²¹ Hay una frase muy utilizada en la Argentina para referirse a las características de las mipymes industriales que es la solución de problemas y el establecimiento de procesos “atando con alambre”. Atar con alambre se refiere a solucionar una cuestión técnica con materiales baratos, fácilmente accesibles y con mucho ingenio.

escalas de mercado mucho menores a la del origen del equipo. Esto se ha logrado usualmente realizándole toda una serie de adaptaciones idiosincráticas en máquinas y procesos, invirtiendo tiempos especiales para desarrollar internamente largas tareas de puesta a punto de equipo, etc. Sumado al elevado grado de diversificación productiva, esta característica le ha permitido a muchas mipymes industriales en Argentina contar con una fortaleza en flexibilidad y permeabilidad productiva ante los avatares de los tipos y niveles de demanda y contratos fluctuantes en contextos de alta inestabilidad macroeconómica. Si la Industria 4.0 viene a proponer la posibilidad de producir en pequeños lotes en una misma línea, probablemente muchas mipymes encuentren poco rentable digitalizar lo que ya funciona competitivamente bien de alguna otra manera, al menos a los actuales costos de la nueva tecnología.

El ideal de “ciberfábrica” aparece, al menos hasta ahora, como un relato alejado de la realidad de la inmensa mayoría de las mipymes industriales en la Argentina. Ello se ha manifestado en los problemas para la identificación de casos relevantes para el estudio de mipymes con introducciones de nuevas tecnologías digitales, donde los actores se autoexcluyen como sujetos de estudio, pues las mejoras que han introducido no se ven representadas por el ideal de ciberfábrica e industria 4.0 promocionado por diversos analistas y proveedores. Esto subestima el grado de adopción de este tipo de mejoras en las mipymes, que consideramos está más expandido de lo que se ve a simple vista. Por lo menos en materia de adopciones “parciales”.

Uno de los resultados de nuestro estudio apunta a que uno de los factores críticos para la adopción de estas nuevas tecnologías ha sido la existencia de competencias digitales previas, iniciales. Esto se manifiesta en que varias de las mipymes estudiadas tienen varias décadas de existencia y una trayectoria digital previa, si se quiere, en tecnologías digitales “tradicionales”. Lo que ha sido un factor crítico para ellas iniciarse en este camino, es claramente un obstáculo para otras mipymes que no lo han hecho. La industria 4.0 abriría así el peligro de un ensanchamiento de las brechas de productividad entre las firmas que ya cuentan con competencias digitales previas, y las que no. Esto puede ser preocupante en las estructuras productivas latinoamericanas donde ya las desigualdades intrasector son muy marcadas y el problema de la heterogeneidad estructural ya es una limitante muy importante al desarrollo. La anticipación a este problema es un factor de intervención selectiva a tener en cuenta.

Hay en nuestro trabajo una idea de que la intervención estatal selectiva es necesaria, y que además la heterogeneidad estructural es un escollo muy importante a considerar en el diseño de la política industrial. Las mipymes tienen una participación muy importante en las estructuras productivas latinoamericanas y, si las nuevas tecnologías digitales se expanden finalmente como un imperativo competitivo, cabe considerar el impacto que puede tener su difusión en estos actores. Especialmente qué dificultades pueden aparecer, de modo de poder contar con políticas que no culminen profundizando los ya graves problemas que originan desigualdades de heterogeneidad estructural que ya son una barrera muy fuerte a sus procesos de desarrollo y emancipación económica.

Nuestra investigación nos ha permitido reflexionar sobre posibles instrumentos de política apartir de la identificación de algunos obstáculos afrontados por mipymes que se han enfrentado concretamente al desafío de adoptar estas tecnologías. Esto se distingue de otras investigaciones que se basan en relevar las percepciones a futuro de cuáles pueden ser las barreras a la adopción, en la opinión de empresas que no necesariamente han implementado nuevas tecnologías digitales y prevén, estiman o se imaginan cuales serán esas barreras. Las dificultades en los procesos de incorporación de tecnologías aparecen en la práctica y en la propia experiencia, y muchas de éstas no pueden identificarse (o cualificarse) por el propio implementador *de ante mano* en una transformación que es totalmente nueva o inédita en su historia.

Los resultados han permitido identificar 9 tipos de obstáculos para la adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes industriales de una economía periférica: 1) la falta de conocimiento de la tecnología; 2) deficiencias en competencias digitales internas; 3) la cultura, hábitos organizacionales y resistencia al cambio; 4) un reducido volumen de transacciones; 5) dificultades de acceso al financiamiento y tamaño de la inversión; 6) limitaciones de la infraestructura de conectividad; 7) insuficiencias en la oferta de tecnologías 4.0; 8) el elevado grado de diversificación productiva de las mipymes industriales en Argentina; y 9) baja sofisticación de la demanda y la propia naturaleza de la actividad productiva de la empresa.

La identificación de estos obstáculos nos ha permitido reflexionar y sugerir posibles instrumentos de política pública para paliarlos. Los tipos de acciones de política industrial son diversos van desde maneras de mejorar las competencias digitales de las empresas, pasando por actividades de difusión hasta el impulso a acciones colectivas y colaborativas para el uso común de maquinaria 4.0, tales como impresoras aditivas o estaciones virtuales para capacitación. Con todo, políticas que no cuenten con recursos consistentes con sus metas y la dimensión del entramado industrial mipyme, no pasarán de la intención discursiva.

Hay dos aspectos que no hemos abordado directamente en esta investigación, pero que son potenciales focos de intervención pública relacionados a la adopción de estas tecnologías en mipymes. Uno está relacionado a las desigualdades de poder en las cadenas productivas, especialmente globalizadas, entre grandes y pequeñas empresas: y otro está relacionada a las indefiniciones legales sobre la propiedad de los datos.

La evidencia provista por el estudio llevado adelante por European Parliament (2016) indica que en Europa son las grandes empresas manufactureras multinacionales las que principalmente están en proceso de implementar iniciativas de industria 4.0 en su organización y relaciones de aprovisionamiento y comercialización. Por lo general, éstos suelen ser los actores de mayor poder de decisión en las cadenas globales de valor y quienes comandan y organizan la gobernanza al interior de ellas. Debido a la interdependencia que este tipo de actores globales tienen con sus cadenas de proveedores mipymes manufactureros y de servicios, la productividad de las mejoras 4.0 al interior de los grandes establecimientos, dependerá de que sus mipymes proveedoras se adapten a los nuevos estándares, métodos y sometan sus sistemas de información a ser integrados con la de los núcleos productivos que gobiernan la cadena. Hay que tener en cuenta de que este es un potencial foco de conflicto entre multinacionales extranjeras y proveedores locales, que la regulación sectorial debe prepararse para zanjar.

Las incertidumbres, indefiniciones y vacíos legales sobre la propiedad de los datos es un potencial problema que seguramente afectará tanto el grado de adopción de estas tecnologías en el tiempo como el tipo de usos que se les dará. No existen estándares claros de quienes son los que pueden explotar el enorme volumen de información que generan las máquinas, los productos, las transacciones y los sistemas informáticos de las empresas (si este volumen fuese almacenado de alguna manera). ¿Es la propia empresa donde funciona la maquinaria? ¿es el proveedor de los equipos? ¿es el desarrollador del software? ¿son los núcleos de la cadena de valor a los que provee la empresa? ¿son todos ellos, en un espacio "virtual integrado"? Es una cuestión que requerirá de acuerdos y protocolos a ser definidos.

Estas son sólo algunas de las múltiples problemáticas y variados desafíos que vienen junto la irrupción de la sociedad digital en los tiempos actuales, y del escenario donde a la mipyme manufacturera latinoamericana se le abre una nueva épica de supervivencia.



- ADEI, O. (2016), "Digitalización y sectores productivos en España," Madrid: Observatorio ADEI, Albrieu, R.; Basco, A.; Brest López, C.; de Azevedo, B.; Peirano, F.; Rapetti, M. y Vienni, G. 2019. *Travesía 4.0: Hacia la transformación industrial argentina*. Buenos Aires, Argentina: BID/INTAL /CIPPEC/UIA.
- Alfonso Ruiz, F. J.; Martínez Caro, E. y Cegarra, J. G. (2018), "La transformación digital de los sistemas Lean a través de la Industria 4.0: un caso práctico" *Economía industrial*, (409), 25-35.
- Amsden, A. 1992. *Asia's Next Giant: South Korea and Late Industrialization*. Oxford University Press on Demand.
- _____(2004), "La sustitución de importaciones en las industrias de alta tecnología: Raúl Prebisch renace en Asia." *Revista de la CEPAL*, (75), 116-36.
- Baldwin, J. y Lin, Z. 2002. "Impediments to Advanced Technology Adoption for Canadian Manufacturers." *Research Policy*, 31(1), 1-18.
- Basco, A.; Beliz, G.; Coatz, D. y Garnero, P. (2018), "Industria 4.0. Fabricando el futuro," Buenos Aires: UIA, BID e INTAL.
- BCG. 2018. "Acelerando el desarrollo de Industria 4.0 en Argentina," The Boston Consulting Group.
- _____(2015), "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries," The Boston Consulting Group.
- Castillo, M. (2017), *El estado de la manufactura avanzada: competencia entre las plataformas de la Internet Industrial*. Santiago, Chile: CEPAL.
- CEPAL (2014), *Cambio estructural para la igualdad. Una visión integrada del desarrollo*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas.
- _____(2013), *Economía digital para el cambio estructural y la igualdad*. Santiago, Chile: CEPAL, NU.
- _____(2007), "Progreso técnico y cambio estructural en América Latina." *Santiago de Chile: Naciones Unidas*.
- _____(1990), *Transformación productiva con equidad: La tarea prioritaria del desarrollo de América Latina y el Caribe en los años noventa*. Santiago de Chile: Cepal, NU.
- CISCO. 2017. "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2016-2021."
- _____(2018), "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022."
- Cruz, M.; Oliete, P.; Morales, C.; González, C.; Cendón, B. y Hernández, A. 2015. "Las tecnologías lot dentro de la industria conectada 4.0," *Libro digital en: <http://a.eoi.es/industria4>*. Gobierno de España, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Escuela de Organización Industrial (eoi).
- Chang, H.-J. (2002), *Kicking Away the Ladder: Development Strategy in Historical Perspective*. Anthem Press.
- _____(2003), "Kicking Away the Ladder: Infant Industry Promotion in Historical Perspective." *Oxford development studies*, 31(1), 21-32.
- _____(2013), "Patada a la escalera: La verdadera historia del libre comercio." *Ensayos de Economía*, 22(42), 27-57.
- D'Este, P.; Iammarino, S.; Savona, M. y von Tunzelmann, N. (2012), "What Hampers Innovation? Revealed Barriers Versus Deterring Barriers." *Research Policy*, 41(2), 482-88.
- Eisenhardt, K. M. (1989), "Building Theories from Case Study Research." *Academy of management review*, 14(4), 532-50.
- European Parliament (2016), "Industry 4.0," Bruselas, Bélgica: European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy (ITRE). Policy Department A: Economic and Scientific Policy.
- Fajnzylber, F. (1990), *Industrialización en América Latina: de la "caja negra" al "casillero vacío": comparación de patrones contemporáneos de industrialización"*. CEPAL.
- Farinelli, S. (2008), "Sistemas locales de innovación: Las empresas pymes metalmecánicas de Tandil (1995-2005), <Riqueza, La de Producción Práctico> Edición Electrónica Gratuita." *Texto completo en www.eumed.net/libros/2008b/397*.
- Galia, F. y Legros, D. (2004), "Complementarities between Obstacles to Innovation: Evidence from France." *Research Policy*, 33(8), 1185-99.

- Gligo, N. (2018), "Conceptos, propuesta de investigación y guía metodológica sobre la adopción de nuevas tecnologías digitales en mipymes latinoamericanas," *Documento de trabajo proyecto Euromipyme (no publicado)* Santiago de Chile: CEPAL.
- Iammarino, S.; Sanna-Randaccio, F. y Savonna, M. (2009), "The Perception of Obstacles to Innovation. Foreign Multinationals and Domestic Firms in Italy." *Revue d'économie industrielle*, (1), 75-104.
- Katz, J. (1997), *Del Falcon al Palio: un complejo proceso de mutación estructural*. Santiago, Chile: CEPAL, mimeo.
- Katz, J. ed. (2009), *Del Ford Taurus a la soja transgénica*. Bs As, Argentina: Edhasa.
- Madrid-Guijarro, A.; Garcia, D. y Van Auken, H. 2009. "Barriers to Innovation among Spanish Manufacturing Smes." *Journal of Small Business Management*, 47(4), 465-88.
- McKinsey. (2017), "La reinención digital: una oportunidad para España," COTEC/McKinsey.
- Mohnen, P. y Röller, L.-H. (2005), "Complementarities in Innovation Policy." *European Economic Review* 49(6), 1431-50.
- Morero, H. A. (2015), "Domestic and Foreign Knowledge Sources for Innovation in Internationalized Production Networks: The Automotive and the Iron and Steel Cases." *Revista Brasileira de Inovação*, 14(1), 193-216.
- Motta, J. (1996), "Mercosur y reestructuración productiva. El caso de las pymes metalmeccánicas de Córdoba," A. Castagna, A. Rofman y M. Woelflin, *Las economías regionales y sus respuestas a los desafíos del MERCOSUR*. Rosario: Homo Sapiens Ed.
- Motta, J. y Morero, H. A. (2017), "El conocimiento productivo aplicado en el sector autopartista: sus distintas dimensiones." *Pymes, Innovación y Desarrollo*, 5(2), 3-30.
- Motta, J.; Morero, H. A.; Borrastero, C. y Ortiz, P. (2013), "Complementarities between Innovation Policies in Emerging Economies. The Case of Argentina's Software Sector." *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 6(4), 355-73.
- Perez, C. (2010), "Technological Revolutions and Techno-Economic Paradigms." *Cambridge journal of economics*, 34(1), 185-202.
- Pérez González, D.; Solana-González, P. y Trigueros Preciado, S. (2018), "Economía del dato y transformación digital en pymes industriales: retos y oportunidades." *Revista de Economía Industrial*, (409), 37-45.
- Pérez González, D.; Trigueros Preciado, S. y Popa, S. (2017), "Social Media Technologies' Use for the Competitive Information and Knowledge Sharing, and Its Effects on Industrial Smes' Innovation." *Information Systems Management*, 34(3), 291-301.
- Pinto, A. (1965), "Concentración del progreso técnico y de sus frutos en el desarrollo Latinoamericano." *El trimestre económico*, (125).
- _____(1976), "Notas sobre los estilos de desarrollo en América Latina." *Revista de la CEPAL*, (1).
- Roland Berger. (2016), "España 4.0: El reto de la transformación digital de la economía," Madrid: Siemens.
- WEF (2016), "Global Information Technology Report 2016," World Economic Forum.
- Yin, R. K. (2009), *Case Study Research: Design and Methods*. Sage.
- Yoguel, G. (2000), "Pyme: una estrategia hacia la competitividad en un escenario de cambio tecnológico." *Documentos de Trabajo del LITTEC*.

Anexo 1

Formulario de identificación de casos

Encuesta sobre nuevas tecnologías digitales

La presente encuesta se envía para colaborar con un trabajo de investigación de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba y de la Universidad Nacional de Rafaela. Podrá conocer más sobre nuevas tecnologías digitales haciendo click en el siguiente link: <https://www.gradiant.org/noticia/tecnologias-industria-4-0/>.

1. Indique si su empresa (en cualquiera de sus áreas o funciones) ha implementado o está evaluando implementar alguna de las siguientes nuevas tecnologías digitales, o si ha contratado algún servicio de ellas, tanto de forma permanente como eventual

TECNOLOGÍA	Ha Implementado o ha contratado	Está evaluando implementar o contratar	NO
Big Data Analysis / Analítica de grandes datos			
Impresión aditiva / 3D			
Cloud Computing / Computación en la nube			
Inteligencia Artificial			
Sensores y/o Internet de las cosas			
Robótica avanzada (colaborativa)			
Realidad Virtual / Realidad Aumentada			
Otras: Especifique			

1.1. Sólo para las empresas que han respondido que han implementado (contratado) o que están evaluando implementar (contratar) alguna de las tecnologías mencionadas en la pregunta anterior

Se abre para las empresas que han respondido que han implementado (contratado) o que están evaluando implementar (contratar) alguna de las tecnologías mencionadas en la pregunta anterior. Caso contrario culmina la encuesta.

	De modo eventual / ocasional	De modo permanente
Esta incorporación de tecnología o contratación del servicio, ha sido realizada		

2. Nombre de la empresa:

3. Cantidad de ocupados a 2017:

La penetración de las tecnologías digitales en las empresas ha sido descrita como la "cuarta revolución industrial", con lo que se hace referencia a la transformación derivada de un conjunto de tecnologías avanzadas que han innovado profundamente los principales aspectos del quehacer empresarial, desde la definición de los procedimientos y rutinas de gestión, a la selección y formación del personal; desde los procesos productivos, a la relación con clientes y proveedores, entre otras cosas.

En el caso de las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) de América Latina, se dispone de escasos datos estadísticos pero estos dan a entender que la penetración de tecnologías como la robótica avanzada, los macrodatos, la computación en la nube, la inteligencia artificial, la impresión aditiva, la Internet de las cosas, la realidad virtual y la realidad aumentada es un fenómeno aún incipiente.

A partir del examen de casos concretos de mipymes argentinas de las provincias de Santa Fe y Mendoza que han dado pasos concretos en esta dirección, el presente estudio se propone contribuir al análisis y comprensión de este fenómeno, evidenciando las motivaciones que estuvieron detrás de las decisiones de los gerentes de estas empresas, las dificultades que enfrentaron y los resultados que alcanzaron.

Este documento se inscribe en el marco del proyecto de colaboración entre la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Universidad Nacional de Rafaela, y forma parte de las actividades llevadas a cabo por el proyecto EUROMIPYME, financiado por la Unión Europea.

